

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKINGSVERDENEN

AKTUEL
natur VIDENSKAB

KABELBAKTERIER

Kvantematematikere afslører smitteveje med corona
Nabohjælp i planteverdenen
Kokain – afhængig af rusen

NR. 3 - 2020 JULI. 50 KR.



Foto: Frederik Wolff Teghus, SNM.

Tyrannosaurus i København

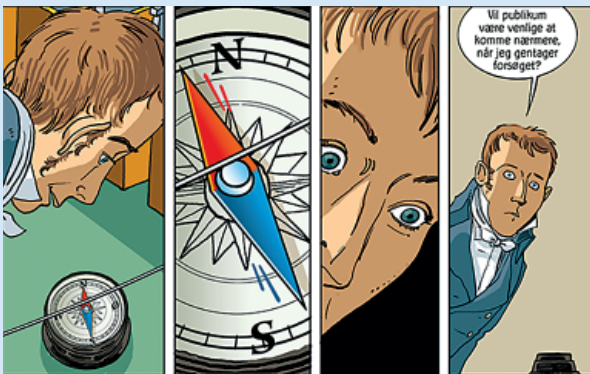
Et af verdens mest velbevarede skeletter af den måske mest berømte dinosaur-art, tyrannosaurus rex, kan nu opleves i al sin 12 meter lange og 4 meter høje pragt på Statens Naturhistoriske Museum i København. Skelettet er fundet i Montana i USA i 2010 og er ejet af to danske samlere, som har opkaldt skelettet efter deres sønner Tristan og Otto. Det er udstillet sammen med fem andre unikke dinosaurer i en fortælling om Jordens fortid, nutid og fremtid.

Kilde: Statens Naturhistoriske Museum

Julekalender med naturvidenskab

I december 2021 vil man på TV2 kunne opleve en julekalender, hvor omdrejningspunktet er naturvidenskabens spændende verden. Projektet er et stort samarbejde mellem TV2, Niels Bohr Institutet ved Københavns Universitet og Nordisk Film Production støttet af Villum Fonden, Novo Nordisk Fonden, Poul Due Jensens Fond og Bitten & Mads Clausens Fond. Anledningen er, at 2022 er 100-året for Niels Bohrs Nobelpris i fysik.

Kilde: science.ku.dk



Ørsted – nu som tegneserie

I anledning af 200-året for Ørsteds opdagelse af elektromagnetismen er der nu også udkommet en tegneserie om den kendte, danske naturforsker på forlaget Eudor. *Ørsted – Han satte strøm til verden* er skrevet og tegnet af Sussi Bech og Ingo Milton i samarbejde med Jens Olaf Pepke Pedersen, seniorforsker på DTU Space.

Kilde: Forlaget Eudor

Quiz

Hvorfor kan man kalde timian for en "ingeniørplante"?

- Fordi det har vist sig, at ingeniører er særligt glade for timian.
- Fordi timian laver meget komplicerede blad- og gren-strukturer
- Fordi timian i høj grad former det kemiske miljø omkring den

Find svaret i artiklen: *Nabohjælp i planteverdenen* i dette nummer



Dronesværme skal sikre broer

En sværm af autonome droner, der kan inspicere Europas mere end 1 million broer og 200.000 kilometer jernbaneskin-ner for fejl og slitage, er visionen i et internationalt projekt med ni partnere, som koordineres af Syddansk Universitet, og som ingeniører fra Aarhus Universitet også deltager i. Forskerne sammenligner dronesværmen med en flok fugle, hvor hver fugl i flokken har sin egen rolle.

Kilde: SDU.dk

Millioner til lovende forskere

Lundbeckfonden har for nylig uddelt såkaldte fellowships til 9 lovende forskere, der med 10 millioner kroner i ryggen over de næste fem år kan opbygge deres egen forskningsgruppe. En af dem er Thomas Stiehl, der både er læge og matematiker og som forsker i blodkræft på RUC. Han vil forsøge at konstruere matematiske modeller, så sygdommen kan studeres indirekte.



Kilde: Lundbeckfonden.

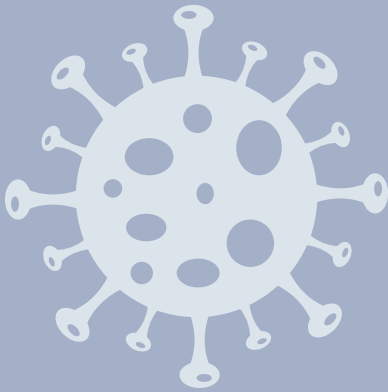


Naturkraft for hele familien

Den 12. juni åbnede det nye oplevelsescenter Naturkraft ved Ringkøbing. Det er en 45 hektar stor park, hvor hele familien kan blive kloge-re på natur, klima og bæredygtighed. Ideen er, at gæsterne gennem leg skal få en helt ny oplevelse af den vestjyske natur.

Kilde: naturkraft.dk

indhold



En gruppe kvantematematikere fra Københavns Universitet har sporet smitteveje af den nye coronavirus ved at analysere mutationer i danske corona-virussekvenser.

8



Strømførende bakterier var indtil for få år siden et nærmest utænkeligt fænomen. Nu finder forskere dem overalt i verden, efter danske forskere først fandt dem i Aarhus Havn.

20

FORSKNING OG NYHEDER

- 2 Noter
- 4 Kort nyt
- 8 Kvantematematikere afslører smitteveje med corona
- 12 Blandt pingviner og turister på Antarktis
- 16 Afhængig af rusen
- 20 Kabelbakterier – et unikt fund i Aarhus Havn
- 26 Nabohjælp i planteverdenen
- 32 Frivillige & husdyr hjælper naturen
- 36 Mange hensyn i ny jordfordeling

PERSPEKTIV

- 41 BØGER & SERVICE
- 44 BAGSIDEN:
Nu skal plasten genanvendes!



Kokain er næstefter hash, det mest udbredte euforiserende stof i Danmark. Men allerede efter første gang man tager kokain kan man blive afhængig. Det hænger sammen med, hvordan kokainen påvirker det naturlige belønningssystem i hjernen via signalstoffet dopamin.

16



Forskernes forståelse af konkurrence i planteverdenen ændrer sig i disse år. Meget tyder nemlig på, at planter kan samarbejde på flere måder end hidtil antaget, og nogle planter kan endda genkende deres nærmeste slægtninge og reagere derpå ved at konkurrere mindre med hinanden.

26

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

Søren Rud Keiding, direktør for AIAS (Aarhus Institute of Advanced Studies), Aarhus Universitet.

Redaktion

Redaktører Carsten Rabæk Kjaer og Jørgen Dahlgaard
Tlf.: 87 15 20 94

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



AALBORG UNIVERSITET



AARHUS
UNIVERSITET



KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET



DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



DET TEKNISKE
FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-
ABONNENTER



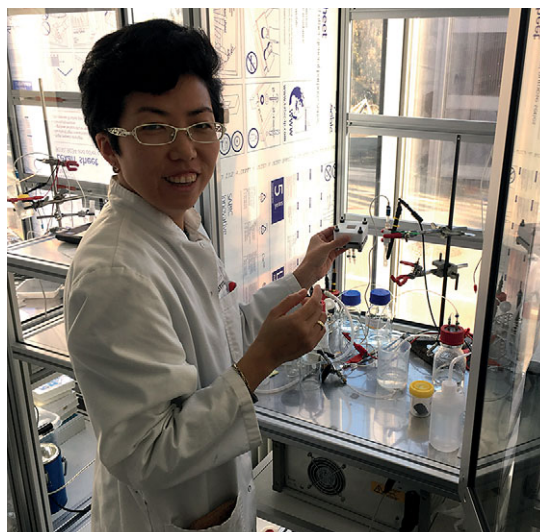
Ny metode genanvender 95 procent platin

Forsker Shuang Ma Andersen fra SDU Chemical Engineering har opfundet en både miljøvenlig og billig metode, som genanvender 95 procent af platin i industriskrot.

»Det er en elektrokemisk proces, hvor vi ved hjælp af fortyndet syre formår at udskille platin fra industriskrot. Processen er skånsom, så andre værdifulde dele af skrotten såsom polymer også bevares,« siger Shuang Ma Andersen og peger på, at metoden er meget mere miljøvenlig end de metoder, der anvendes i dag.

»I omkring 50 år har vi genanvendt platin ved at brænde industriskrot. Det kræver ovne, som kan klare over 1500 grader. Samtidig brændes andre værdifulde dele i processen, og der dannes giftstoffer. Det er en stor skam og slet ikke miljøvenligt,« påpeger Shuang Ma Andersen.

EU har platinmetaller på listen over kritiske metaller, og industriens globale efterspørgsel efter metallet stiger årligt med cirka 12,5 procent. Samtidig er forsyningssikkerheden



Shuang Ma Andersen. Foto: Birgitte Dalgaard

ikke den bedste, da det er lande som Sydafrika og Rusland, som står bag 85 procent af naturens platin-reserver.

»Derfor er det så vigtigt, at vi får genanvendt platin, så vi kan bruge det værdifulde metal igen og igen,« siger Shuang Ma Andersen.

Samtidig peger hun på, at vi i takt med, at

brugen af brændselsceller stiger, ser ind i et alvorligt problem i forhold til at få genanvendt platin fra brændselsceller, som blandt andet bruges i miljøvenlige brintbiler.

»Mit bud er, at platin fra brændselsceller i dag genanvendes ved at blive brændt. Det skaber et stort miljøproblem, fordi der i processen opstår farlige fluor-gasser, som er en drivhusgas, der er 10.000 gange mere potent end CO₂. Samtidig ætser gasserne de ovne, hvor brændselscellerne bliver brændt. Det er egentligt ulovligt, men da brugen af brændselsceller endnu ikke er stor, er der nok lavet undtagelser, eller man opsamler de farlige stoffer, inden de udledes,« vurderer Shuang Ma Andersen.

»Men de gasser opstår ikke, når man benytter min metode,« forklarer Shuang Ma Andersen, som understreger vigtigheden af at have en bæredygtig løsning til genanvendelse af platin i brændselsceller, inden brændselsceller bliver en kommerciel succes.

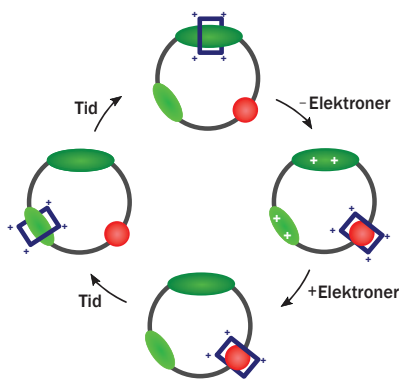
Birgitte Dalgaard, SDU

Gennembrud med molekylære maskiner

Molekyler er nogle af livets mest grundlæggende byggesten. Når de arbejder sammen på den rigtige måde, opstår molekylære maskiner, som kan løse de mest fantastiske opgaver. Fremtidens drøm er at skabe og kontrollere nye molekylære maskiner, som kan arbejde for os. På Syddansk Universitet er ph.d. Rikke Kristensen og kolleger på Institut for Fysik, Kemi og Farmaci kommet drømmen et skridt nærmere. Det er lykkedes dem at styre en molekylær maskine, så den i fremtiden kan bringes til at udføre en kontrolleret bevægelse.

»Det betyder, at man i princippet kan sende maskinen derhen, hvor man ønsker, at den skal udføre sin funktion,« siger Rikke Kristensen.

Man kan for eksempel forestille sig at pakke en molekylær maskine ind i en tablet med medicin og bruge den til at kontrollere, hvornår medicinen frigives. Eller man kan lade



Figuren viser princippet i bevægelsen i en catenan: den ene ring (blå) flyttes fra station til station på den anden ring ved henholdsvis at fjerne og tilføje elektroner. Det giver en ensrettet bevægelse med urets retning. Illustration: Rikke Kristensen

molekylære maskiner indgå i coating-produkter, som man lægger på overflader: Når man aktiverer de molekylære maskiners bevægelser, vil det kunne ændre overfladens egenskaber og hermed fjerne skidt fra overfladen. Kort fortalt består gennembruddet i, at

det er lykkedes at kontrollere de molekylære maskiner således, at de kan styres til kun at bevæge sig i en retning. Hidtil har forskerne kun kunnet få molekylerne til at bevæge sig mellem to punkter svarende til, at et hjul på en bil kører en halv omgang frem og en halv tilbage, hvilket jo ikke giver fremdrift.

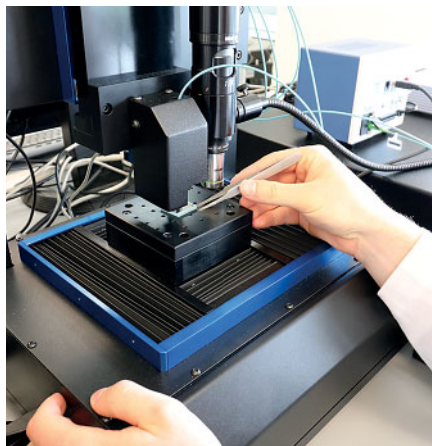
»De molekyler, vi arbejder med, kaldes catenaner og rotaxaner, hvor catenaner er to sammenlåste ringe, mens rotaxaner er et "håndvægtsformet"-molekyle med en ring omkring. I disse systemer kan vi få ringen til at bevæge sig, og det er den bevægelse, som kan udnyttes i molekylære maskiner. Vi bruger primært elektroner (strøm) eller kemikalier som brændstof, men man kan også lave systemer, der bruger andre energikilder, eksempelvis lys,« forklarer Rikke Kristensen.

Birgitte Svennevig. Kilde: Chemistry Europe, Vol. 26, Issue 28, pp 6165-6175

Klogere på revner og brud i glas

Et forskerteam fra Aalborg Universitet har skabt større forståelse for brud og revner i glas, der tilhører en ny familie af mikroporøse glasmaterialer kaldet MOF-glas (metal-organisk netværk glas). Den nye viden vil være en vigtig brik, når materialerne fremover skal bruges til nye, praktiske formål. De såkaldte MOF-glas, hvis mekaniske egenskaber undersøges i studiet, er en ny familie af glasmaterialer, der er dannet ved smeltning. De blev opdaget af et internationalt hold for fem år siden med Yuanzheng Yue som hovedopfinder. Den nye glasfamilie består af en metal-organisk struktur (metal-organic frameworks eller MOF), der kan danne en væsentlig mere porøs struktur end traditionelle glasmaterialer. Forskerteamet påviser i de nye undersøgelser, hvordan MOF-glas reagerer ved forskellige ydre påvirkninger.

»Den ny viden er afgørende for at kunne identificere nye muligheder og begrænsninger for anvendelsen af de forskellige typer af glas. Det er vigtigt at forstå de mekaniske egenskaber for alle disse anvendelser – blandt andet i forhold til, hvor pålideligt materialerne er over tid,« udtaler professor MSO Morten Matstrup Smedskjær.



Mekanisk undersøgelse af glasmaterialer i en hårdhedsmåler. Foto: Camilla Kristensen

Resultaterne har derfor stor betydning for forståelsen af revnedannelser og brud i glasmaterialer og er netop blevet publiceret i de to videnskabelige tidsskrifter *PNAS* og *Nature Communications*.

»Vi har fokuseret på brudsejhed af MOF-glas ved at teste glassets evne til at modstå udbredelse af revner. MOF-glas er et hybridmateriale, der består af en blanding af organiske og uorganiske komponenter. Vores studier har

vist, at bruddet igennem materialerne kun sker gennem de svage zink-nitrogen koordinationsbindinger, der forbinder de to komponenter. Dette giver en meget lav brudsejhed,« forklarer Morten Matstrup Smedskjær.

Forskerteamet peger i artiklerne på, at et nyt MOF-glas desuden udviser overraskende og unormal revnedannelse, når man sammenligner det med de allerede kendte glasfamilier. Der dannes for eksempel områder med meget høj lokal deformation, hvilket igen kan tilskrives de særlige zink-nitrogen koordinationsbindinger. Den nye viden giver Yuanzheng Yue og kolleger håb om, at man vil kunne anvende MOF-glas til flere interessante formål i fremtiden.

»Det kunne være som materiale til gas-indfangning eller som vært for medicin eksempelvis i forbindelse med radionuklider til direkte bestråling i kroppen. Glassene kombinerer høj lastningskapacitet med mulighed for kemisk funktionalisering og langsommere medicinfrigivelse i forhold til MOF-krystaller,« forklarer Yuanzheng Yue.

Jeannette Mølgaard Bylov, AAU

Virus bag hukommelse

Nogle gange kan en virusinfektion føre til død og ødelæggelse. Andre gange kan den bidrage til helt centrale funktioner hos mennesket. Sidstnævnte er konklusionen i et studie udgivet sidste år i *Cell Press Structure*.

Her viser forskere fra Københavns Universitet nemlig, at menneskets evne til at lagre hukommelse med stor sandsynlighed er opstået på grund af en virusinfektion med det såkaldte Arc-protein for millioner år siden.

»Virusinfektionen har sandsynligvis været helt afgørende for, at vi kan lagre hukommelse. At det har været så vigtigt for vores udvikling som art, at vi blev inficeret med en virus, er rimeligt vildt,« fortæller Christian Parsbæk Pedersen, der er ph.d.-studerende på Biologisk Institut og en af biokemikerne bag studiet.



Illustration: Colourbox.

Arc-proteinet findes hovedsageligt i vores nerveceller og regulerer mængden af specifikke membranproteiner nemlig de såkaldte AMPA-receptorer, der har betydning for, hvor mange signaler nervecellerne kan sende i hjernen og dermed også, hvor meget information, vi kan lagre og huske.

»Arc-proteinet kan op- eller nedjustere mængden af AMPA-receptorerne, så de bliver mere eller mindre aktive, hvilket er med til at påvirke vores langtidshukommelse,« forklarer

Christian Parsbæk Pedersen, der understreger, at forskerne endnu ikke kender proteinets indflydelse på hukommelsen til fulde.

»For 200 millioner år siden inficerede Arc-proteinet det arvemateriale, der senere udviklede sig til os mennesker. Arc-proteinet har altså overlevet i det menneskelige arvemateriale gennem evolutionen og har kun ændret sig en smule, idet proteinet ikke længere er sygdomsfremkaldende, men i stedet påvirker vores hukommelse,« slutter Christian Parsbæk.

Arc-proteinet er blot ét ud af 100 udvalgte proteiner fra det menneskelige genom, der stammer fra virusproteiner, som Christian Parsbæk og forskere fra samme institut har undersøgt struktur og funktion af i laboratoriet.

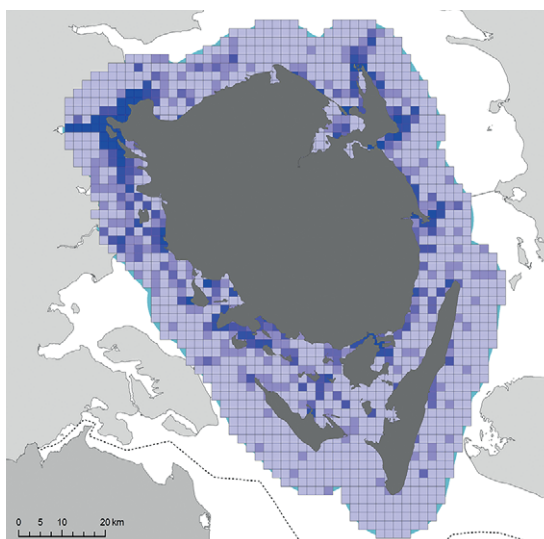
Ida Eriksen, Københavns Universitet, Kilde: *Cell Press Structure*, Vol. 27, ISS. 7, P1071-1081.

Find flere marsvin

I 2019 startede citizen science projektet "Fyn finder Marsvin", hvor borgere via app'en Marine Tracker hjalp forskere med at spotte marsvin i farvande omkring Fyn. Her i 2020 er projektet nu udvidet til flere andre områder – herunder Vadehavet og Bornholm, og det er håbet, at projektet fremadrettet udvides til hele Danmark.

Marsvinet er Danmarks mest almindelige hval. Selvom der har været forholdsvis meget forskning på marsvin, er der stadig meget, vi ikke ved, for eksempel hvor de føder de deres unger, om der er specielle områder, som mødrene bruger under diegivningstiden eller, hvor hanner og hunner mødes for at parre sig. Den slags data er svære at skaffe, blandt andet fordi havets dyr ikke kan overvåges på samme måde som landlevende dyr.

Marsvin får én kalv om året, som er hos moderen cirka 10 måneder efter fødsel. I tiden efter



Plot af marsvineobservationer fra 2019.

I 2019 blev der i projektet Fyn finder marsvin observeret over 2.500 marsvin i perioden april-december. Data viser, at de fleste kalve blev født i juni, da der ses en stigning i "Mor og kalv" observationer i denne måned. Desuden ses der tydelige "hot-spots", hvor der var mange marsvin i perioder. Nogle af disse områder, for eksempel i det sydfynske øhav, var tidligere ukendte for forskerne og vil derfor komme under ekstra fokus fremover.

App'en Marine Tracker er udviklet af Syddansk Universitet, Citizen Science netværket på SDU, Aarhus Universitet, Fjord & Bælt, DR P4 Fyn og Nationalpark Vadehavet.

fødsel er det vigtigt, at moderen og ungen ikke bliver forstyrret, da det kan have store konsekvenser for yngelplejen. Ved at lære om marsvins livscyklus og habitat, kan vi bedre beskytte marsvinet og sikre en stabil population.

Læs mere og hent app'en på: marinebiologicalresearch.firebaseio.com

Freja Jakobsen (SDU), Signe Sveegaard (AU), Magnus Wahlberg (SDU)

Et gen for svampesamarbejde

Forskere fra Institut for Plante- og Miljøvidenskab på Københavns Universitet har opdaget et gen i planter, der regulerer samarbejdet med såkaldte mykorrhizasvampe. Ny viden, som på sigt kan give større udbytte i landbruget og behov for mindre gødsning.

»Lignende gener findes i afgrøder i landbruget. Hvis man muterer eller slukker for genet CLE53 i en afgrødeplante, vil den sandsynligvis i højere grad indgå i symbiose med svampen, så man kan reducere behovet for fosfor-gødning, fordi planterne bliver bedre til at optage den eksisterende fosfor i jorden,« forklarer adjunkt Thomas Christian de Bang fra Institut for Plante- og Miljøvidenskab.

Man anslår, at cirka 70 procent af den fosfor-gødning, der benyttes i dansk landbrug ophobes i jorden, og blot 30 procent når frem til planten. Når det regner, er der sam-



Mykorrhiza er symbiose mellem en svamp og en plante.
Foto: Shutterstock.

tidig en risiko for, at en del af den ophobede fosfor udledes til vandløb, søer og farvande.

Paradoksalt har forskere observeret, at når indholdet af fosfor i jorden er højt, vil planterne være mindre tilbøjelige til at indgå i arbejdsfællesskabet med svampene, hvilket betyder, at de bliver dårligere til at optage næringsstoffer.

»Vi har i en række forsøg påvist, at planten ikke producerer genet CLE53, hvis den mangler fosfor. Men når fosfor-niveauerne i planten er høje, eller hvis planten allerede er i samarbejde med svampen, så stiger niveauet af CLE53. Vores forsøg viser, at CLE53 har en negativ effekt på plantens evne til at gå i symbiose med svampen og dermed optage fosfor mest effektivt,« siger Thomas Christian de Bang.

I Kina, USA, Schweiz og Storbritannien er genredigering af planter lovligt. Men i EU er der ikke en accept af genredigeringsmetoder som CRISPR til at ændre planter og fødevarer. Derfor har forskernes opdagelse p.t. dårlige muligheder for at blive brugt i Danmark og resten af EU.

Michael Skov Jensen, Københavns Universitet, Kilde: *J. Exp. Bot.*, <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa193>



KØBENHAVNS
UNIVERSITET



DET RIGTIGE STUDIEVALG TAGER TID

Brug tiden på at tage et **Uddannelsestjek** på KU's naturvidenskabelige bacheloruddannelser. Så er du bedre rustet til dit studievalg.

Klik dig ind på den uddannelse, du er interesseret i på science.ku.dk/ba – du finder **Uddannelsestjekket** på studiets hjemmeside.

science.ku.dk/ba

KVANTE- MATEMATIKERE AFSLØRER SMITTEVEJE MED CORONA

En gruppe kvantematikere fra Københavns Universitet har sporet smitteveje af den nye coronavirus ved at analysere mutationer i danske coronavirussekvenser.

Forfatterne:



Matthias Christandl er professor
christandl@math.ku.dk



Frederik Ravn Klausen er ph.d.-studerende
klausen@math.ku.dk



Vincent Steffan er ph.d.-studerende
sv@math.ku.dk



Albert H. Werner er adjunkt.
werner@math.ku.dk

Alle fra Centre for the Mathematics of Quantum Theory, Institut for Matematiske Fag, Københavns Universitet.

Da den nye coronavirus ramte hele verden, og i starten af marts også Danmark, var det en ekstraordinær begivenhed. Samfundet blev sat i alarmberedskab, og de fleste blev sendt hjem fra arbejde og skole. Situationen medførte også, at en masse data pludselig blev tilgængelig. Man kan stadig knap nok åbne en avis uden at blive konfronteret med grafer, der viser den seneste sygdomsudvikling. Det gjaldt også gendata om selve coronaviruset, hvor der allerede i marts fandtes flere sekvenser af virusgenomet end fra tidligere pandemier på grund af den rivende teknologiske udvikling inden for genforskningen.

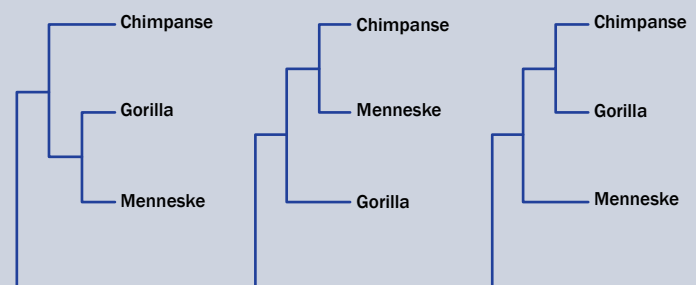
Den store datamængde gjorde, at vi og vores kolleger ved det tværvideenskabelige forskningscenter QMATH ved Københavns Universitet Andreas Bluhm, Fulvio Gesmundo, Laura Mančinska, og Daniel Stilck França blev nysgerrige. Til daglig forsker vi i kvantematik, men vi ville gerne forstå, hvad man kunne bruge

det data til og se, om vores matematiske kundskaber kunne bidrage til at forstå pandemien.

De genetiske data fortæller os blandt andet, at virussen med tiden får mutationer på mere eller mindre tilfældige steder. Er der opstået en mutation i virusgeno-

met hos én inficeret person, bliver den videregivet til de næste i smittekæden. Har man genomsekvenser fra forskellige smittebærere, kan man ved hjælp af matematiske metoder rekonstruere deres genetiske stamtræ. Ved hjælp af stamtræet kan man identificere smittekæder, der kan hjælpe til at

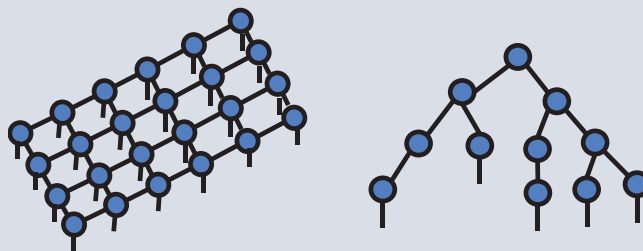
Fylogenetiske træer



Et fylogenetisk træ er et stamtræ for forskellige arter. Her vises tre muligheder for, hvordan menneske, chimpansé og gorilla kan være beslægtet. Ved hjælp af genomsekvenser kan man finde ud af, at den rigtige relation er den midterste, dvs. menneske og chimpansé har en fælles forfader, som har en fælles forfader med gorillaen.

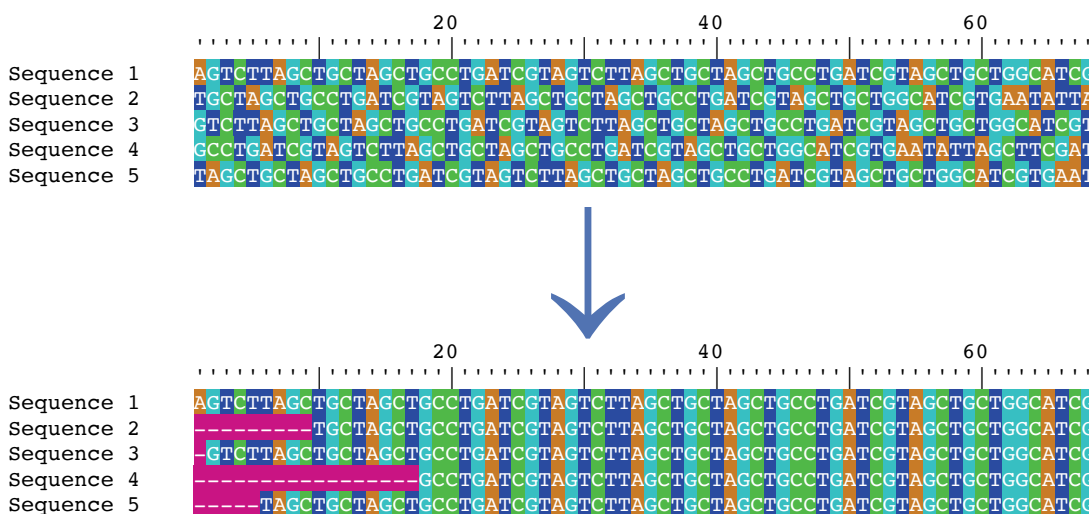
Tensornetværk

Kvantetilstande af mange partikler beskrives ofte ved hjælp af tensornetværk. De blå cirkler er tensorer, dvs. høj-dimensionale tabeller af tal. Tensorerne kombineres (i fagsproget "kontrahe- res"), hvis de er forbundet.



Resultatet er et tensornetværk. I kvantemekanikken bruges der gitre og komplekse tal (venstre).

Til at konstruere fylogenetiske træer bruger man reelle tal og fordeler tensorerne på træer (højre).



Inden man kan undersøge og sammenligne genomsekvenser af virus fra forskellige patienter, skal de først "alignes" – dvs. lægges præcist ved siden af hinanden. Det foregår ved hjælp af computerprogrammer. Det viste eksempel (som ikke har mutationer) er computergeneret og stammer altså ikke fra reelle coronavirusgenomer.

forstå virusspredningen. Som vi forklarer senere, kan dette bruges til at forstå effektiviteten af afbødningsstrategier og dermed hjælpe i genåbningsfasen, særligt i forhold til kontaktopsporing.

Matematik og genetiske stamtræer

I fagsproget hedder et genetisk stamtræ et *fylogenetisk træ*, og her findes der en sammenhæng mellem matematikken bag fylogenetiske træer og såkaldte tensornetværk, som er centrale inden for vores felt *kvantematematik*. Med dette som udgangspunkt satte vi os som mål at bygge det fylogenetiske træ fra de danske coronavirussekvenser samt at identificere smittekæder. Efter to måneders intensivt arbejde har vi offentligtgjort vores resultater på preprintserveren bioRxiv, så det

nu er tilgængeligt for forskere og andre interesserede.

Genomet af den nye coronavirus består af en RNA-sekvens med en længde på cirka 30.000 nukleotider. De fire nukleotider er guanin (G), uracil (U), adenin (A) og cytosin (C). Det er sædvanlig at skrive T i stedet for U, som om det var DNA og ikke RNA. Hvis der sker en mutation, bliver der på en specifik position skiftet en nukleotid ud med en anden, for eksempel blev der i nogle af de danske sekvenser skiftet et A ud med et C i position 15842 (og man skriver så C15842A).

Fra man tager en prøve hos en patient, til man har gensekvensen, ligger der et stort arbejde, som bliver udført i Mads Albertsens laboratorium på Aalborg Universitet i samarbejde med Statens Serum

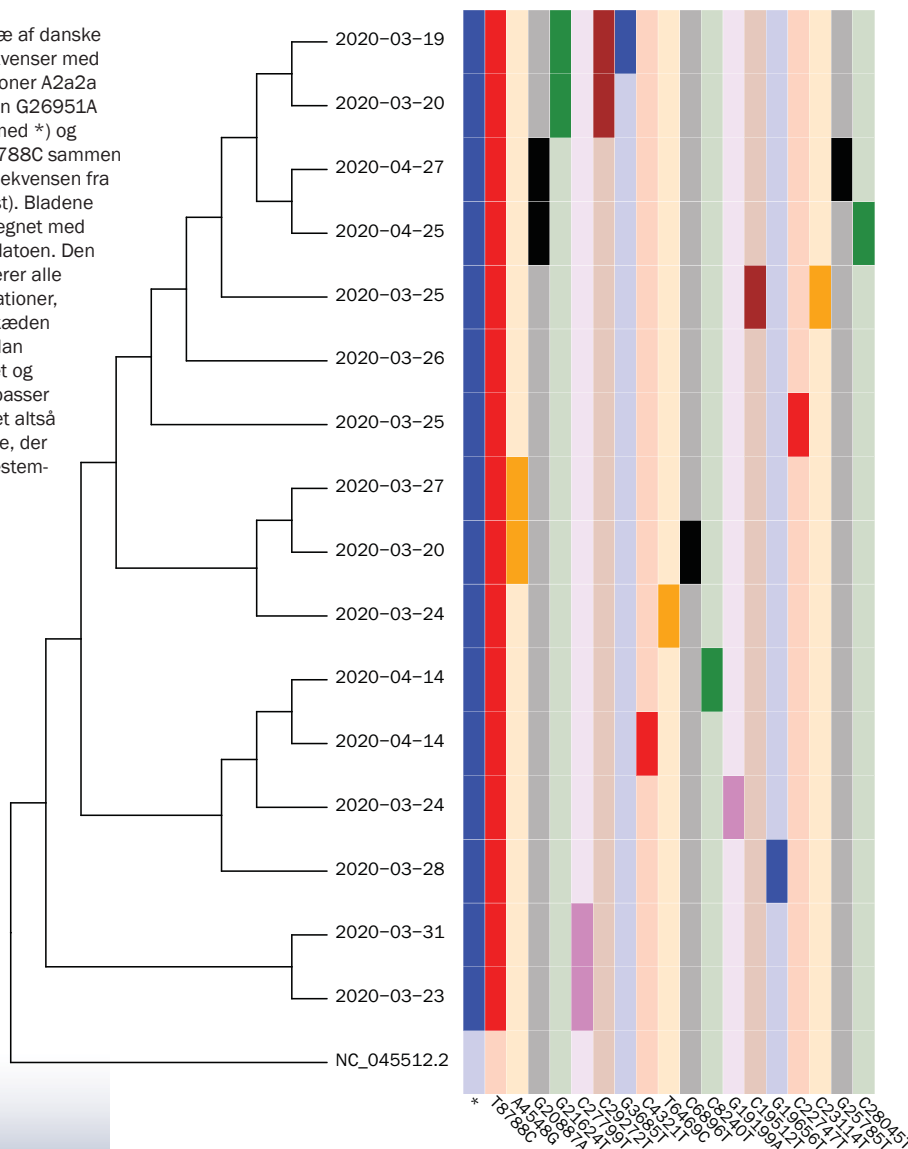
Institut, og som blev beskrevet i sidste nummer af *Aktuel Naturvidenskab*. Det er helt fantastisk, at de sekventerede danske genomer, og også mange andre verden over, bliver lagt offentligt i GISAID-databasen. Dette promoverer deling af virusgenomsekvenser, og det, at vi kunne downloade dem, gjorde vores arbejde muligt.

Genomsekvenserne er næsten ens, men de er forskudt i forhold til hinanden og har måske også andre fejl. Inden man kan undersøge dem, skal man derfor lægge dem præcist ved siden af hinanden (*alignment*) ved hjælp af nogle computerprogrammer. For at kunne tale om mutationer er det blevet standard i coronaforskningen af bruge en specifik sekvens fra en af de første patienter i Wuhan som reference.



The Villum Centre of Excellence for the Mathematics of Quantum Theory (QMATH) er et interdisciplinært forskningscenter på Institut for Matematiske Fag på Københavns Universitet. Centrets mål er at bidrage til den matematiske forståelse af kvantefysik med særlig vægt på kvantestof og kvanteinformationsteori. For mere information, se www.qmath.ku.dk

Fylogenetisk træ af danske coronavirussekvenser med de seks mutationer A2a2a plus mutationen G26951A (her indikeret med *) og mutationen T8788C sammen med standardsekvensen fra Wuhan (nederst). Bladene af træet er betegnet med prøvetagningsdatoen. Den højre del indikerer alle yderligere mutationer, hvorfra smittekæden kan aflæses. Man kan se, at træet og mutationerne passer sammen, og det altså er mutationerne, der er med til at bestemme træet.



Vi har også fundet andre smittekæder, hvor den sidste mutation dukker op i flere sekvenser. Derudover har vi fundet en mutation (C1302T), som internationalt set er mest udbredt i Danmark, men som har spredt sig til blandt andet Island og Sverige. Vi har altså her en smittekæde, som i starten af marts spredte sig fra Danmark, noget som vi ikke før havde hørt beskrevet i medierne.

Et værktøj for fremtiden

Identifikation af disse smittekæder via genomsekventering kan blive vigtigt i fremtiden. Vi ved nemlig, at meget fremtidigt arbejde med at holde epidemien i skak drejer sig om kontaktopsporing. Hvis man bliver testet positiv med coronavirus, skal man have fat i alle, man har været sammen nogle dage inden, så de også kan blive testet. Hvis man nu sekventerer virussen, kan man se, om det kan passe med, at smittekæden rent faktisk er forløbet, som man tror. Hvis ikke, så må kontaktopsporingen udvides.

Udover identifikationen af smittekæder tegner vi et billede af de stammer af virusset, som er i Danmark. Det kan man bruge til at se, om der er en stamme, der får overtaget, hvilket kunne være tilfældet, hvis den var meget mere smitsom. I det data, vi har analyseret, er der ikke noget, der tyder på dette. Derudover kan man bruge det til at se, hvilken indflydelse grænseåbningen og specielt sommerturismen har på de i Danmark forekommende virusvarianter, da andre lande har andre mutationer.

I vores analyse brugte vi det data, der var tilgængelig den 26. maj. I takt med, at pandemien og dens genomdata vokser, kan vi nemt opdatere vores analyse ved at fodre vores computerprogrammer med nye data. Hvis for eksempel specifikke lokale udbrud skal analyseres, kan specielt vores mutationsvisualisering hjælpe med hurtigt at identificere smittekæderne og dermed hjælpe med at imødegå udbruddet.



Referencer:
Carsten R. Kjaer, Corona-forskning på speed, *Aktuel Naturvidenskab*, 2-2020.

Andreas Bluhm, Matthias Christandl, Fulvio Gesmundo, Frederik Ravn Klausen, Laura Mančinska, Vincent Steffan, Daniel Stilck França, Albert H. Werner, SARS-CoV-2 Transmission Chains from Genetic Data: A Danish Case Study, doi.org/10.1101/2020.05.29.123612

GISAID: S. Elbe and G. Buckland-Merrett. Data, disease and diplomacy: GISAID's innovative contribution to global health. *Global Challenges*, 1(1):33(46), 2017.

Når det er gjort, kan man bygge et fylogenetisk træ, igen ved hjælp af specielle algoritmer. Vi har også udviklet en speciel visualisering af mutationerne, så vi kan bestemme specifikke smitteveje endnu mere præcist.

Smittekæder

Vi er nået frem til, at en stor del (cirka 70 %) af de danske sekvenser har seks specifikke mutationer tilfælles (de seks mutationer tilsammen har navnet A2a2a). Ved at sammenligne dem med data fra Østrig, Norge og Island peger alt på, at en stor del af disse sekvenser stammer fra skisportsstedet Ischgl i Østrig. Det er konsistent med de informationer fra pressemøder, som vi alle sammen husker fra de dage, Danmark lukkede ned. Ved at kigge på flere smittekæder kan vi

dog også se andre mindre dele af smitten sandsynligvis kommer fra Italien, Storbritannien og Holland.

Endvidere kan vi se, at virussen allerede i april havde muteret mange gange i Danmark.

Hvis man antager, at én mutation i genomsekvensen på et sted er lige så sandsynlig som en mutation et hvert andet sted, kan man konkludere, at mutationen T8788C er sket først. Dernæst kom mutationen G20887A, som så igen forgrener sig ud i henholdsvis C28045T og G25785T. Vi kan altså direkte aflæse den sandsynlige smittekæde:



Lone Simonsen, professor i folkesundhedsvidenskab
ved Roskilde Universitet

”
Med matematiske
og statistiske modeller
undersøger vi historiske
og nutidige pandemier
for at forstå fremtidens
trusler.”

Bliv cand.scient. i Mathematical Bioscience på Roskilde Universitet
Læs om uddannelsen på ruc.dk

BLANDT PINGVINER OG TURISTER PÅ ANTARKTIS



Om forfatterne



Bo Elberling, professor og centerleder ved Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning. Forsker i processen i jordmiljøet i et samspil med planter og mikroorganismer. be@ign.ku.dk



Elisabeth M. Biersma, forsker ved Statens Naturhistoriske Museum, Københavns Universitet. Forsker i evolutionsbiologi med fokus på polare egne. elisabeth.biersma@snm.ku.dk

Ny forskning peger på, at pingvinkolonier kan opfattes som hotspot for udledning af drivhusgasserne metan og lattergas. I forbindelse med 200-året for opdagelsen af det antarktiske kontinent er vi derfor taget med turister til Den Antarktiske Halvø for at måle og diskutere frigivelsen af drivhusgasser fra polare egne i et såkaldt Citizen Science projekt.

A rktis er et mere eller mindre is-fyldt hav omgivet af kontinenter. Antarktis er derimod et kontinent omgivet af Sydpolarhavet. Mere end 98 % af kontinentet er dækket af en indlandsis med en gennemsnitlig tykkelse på 1600 m. Indlandsisen repræsenterer dermed mere end 90 % af den samlede mængde af is på Jorden. Hvis hele iskapen smelter, vil det svare til en global havspejlsstigning på 60-70 m eller mere end 10 gange så meget sammenlignet med Grønlands indlandsis. Det er velkendt, at en del af iskapen smeltede i den sidste mellemistid for omkring 120.000 år siden og gav anledning til en global vandstandsstigning i størrelsesordenen 10 m. De seneste meldinger fra

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tyder på, at den nuværende afsmeltning (2006-2015) svarer til en global havspejlsstigning på 0,4 mm om året. Denne afsmeltning knytter sig kun til Vestantarktis. Det antarktiske kontinent er det koldeste kontinent og omgivet af kolde havstrømme, der i modsætning til Arktis fastholder kontinentet isoleret fra omverden.

Regional opvarmning

Samme IPCC-rapport viser, at Antarktis ikke opvarmes på samme entydige måde som kendt fra Arktis. Det gælder også havisen, som i store træk har et ensartet dække dog med store variationer fra år til år. En entydig regional opvarmning synes dog at være tilfældet i Vestantark-

tis, hvor lufttemperaturen er steget 2,4 °C i perioden 1958 til 2010.

Et af de steder, hvor den regionale opvarmning er mest markant, er på Den Antarktiske Halvø – spidsen, der peger op mod Sydamerika. Her er den stærke antarktiske strøm tæt på land, tilgængeligheden af næringsstoffer stor, og 100.000-vis af pingviner holder til her. Forudsætningen for de mange pingviner er et ekstremt produktivt marint miljø med planteplanton, krill, fisk, blæksprutter og meget mere.

Den isfrie del af Antarktis er begrænset og svarer til 1/3 af England. Men landområdet øges, fordi gletsjere smelter tilbage, og samtidig påvirkes de marine fødekæder.



Krill er et lille rejelignende krebs, som er den primære næringskilde for bardehvalerne, sæler, pingviner og albatrosser. Populationen af krill er tæt knyttet til forekomsten af havisen og dermed klimaet, men også den massive kommercielle fangst de seneste årtier. Tæt koblet til klimaændringer og kommerciel fangst af krill er der både vindere og tabere blandt pingvinerne.

Citizen science i Antarktis

Vi er på 200-året for opdagelsen af Antarktis taget med turister til Antarktis på alt andet end en ferie. Der er tale om et citizen science projekt (se infoboks), hvor vi med kammermålinger og med hjælp af turister har målt frigivelsen af både kuldioxid, metan og lattergas fra jorden. Fordi det er en ekspedition for turister, har det været muligt at sejle fra koloni til koloni og på kort tid foretage målinger fra forskellige arter af pingviner og forskellige egne af den Antarktiske Halvø. På den måde har vi fået et unikt øjebliksbillede af variationen i frigivelsen af drivhusgasser.

Pingvinland

De isfrie områder på Antarktis med millioner af sæler og pingviner er en speciel oplevelse. Her kan man stå i guano til anklernerne med udsigt til mere end 100.000 individer af den samme art af pingviner. Takket været pingvinerne er

Citizen Science – hvorfor turister?

Citizen science – eller på dansk medborgerforskning – er inddragelse af borgere og frivillige i indsamlingen af forskningsdata. Som regel sker inddragelsen på frivillig basis, og man hjælper således forskere inden for en række forskellige videnskaber. Nogle projekter forudsætter borgerinddragelsen, fordi dataindsamlingen slet ikke er mulig, uden at 100-1000vis af mennesker måler, observerer eller dokumenterer på en ensartet måde. Med internettet og smartphones kan billeder, lyde eller andre former for observationer hurtig sendes videre til forskere med informationer om tid og sted. Citizen science er en stærkt voksende komponent ved videnskabelig dataindsamling. Dertil kommer, at borgerinddragelsen giver større viden og respekt om både naturen og samfundsforhold generelt.

Studerende i alle aldre, turister og mange andre er drevet af en nysgerrighed for, hvad de ser, og er ofte interesseret i at lære og bidrage til forskning. Vi har formaliseret et samarbejde med Albatros Travel, som omvendt gerne vil udbyde rejser for turister, der både byder på store naturoplevelser og et aktivt engagement i både indsamling af data og helt nye viden om samspil mellem mennesker, natur og klima.

En af de kommende sommerture til Disko i Vestgrønland inkluderer derfor besøg af turister på forskningsstationen Arktisk station og feltforsøg, og rejsen er annonceret som en integreret naturoplevelse med videnskab på sidelinjen.

↑ Adélie-pingviner ved Paulet Island vest for Den Antarktiske Halvø. Adélie-pingviner af en af de arter, som primært lever af krill og er derfor stærkt afhængig af ændringer i bestanden af krill som følge af ændringer i klimaet, havis og fiskeri. Foto: Sophie Elberling.



Målinger af drivhusgasser fra forskellige arter af pingviner, viser at der er stor forskel på frigivelsen af drivhusgasser. Her ses æselpingviner ved rede.. Foto: Sophie Elise Elberling.



Antarktis' pionerer

Der er lidt diskussion om, hvornår Antarktis første gang blev opdaget. For 200 år siden blev verdenshavene besejlet for at finde nye handelsruter samt havområder, hvor hvaler og sæler kunne understøtte en olieproduktion til blandt andet at oplyse Europas storbyer om natten. Derfor blev mange sejlruter og opdagelser holdt hemmelige. Russeren Fabian Gottlieb von Bellingshausen er generelt anerkendt som formentlig det første menneske, som fik øje på Antarktis. Han var udsendt af den russiske Zar og kom med skibene Vostok (Øst) og Mirny (Fredelig) efter at have sejlet omkring 15.000 km fra St. Petersborg. Den 27. januar 1820 fik Bellingshausen Antarktis i sigte. Året efter satte amerikaneren John Davis som den første foden på Den Antarktiske Halvø.

disse områder samtidig modtager af gigantiske mængder af næring i form af kulstof, kvælstof og fosfor fra havet til landjorden. De fleste kendte biogeokemiske processer medfører normalt det stik omvendte – en udvaskning fra land til hav via floder. Men pingviner og sæler har fundet plads og ro til at yngle på land – fri fra rovdyr, tilpasset sig kulden og kan frit her opfostre deres unger.

Pingvinkolonier i Antarktis kan sammenlignes lidt med fuglefjelde i Arktis, men de er langt mere omfattende, når det kommer til næringsstoffer og potentialet for omsætning og drivhusgasser. Pingvinland er samtidig en skueplads for dyr og fugle, der skubber, napper og giver lyd. Det kan derfor ikke undre, at jordmiljøet under pingvinerne er ekstremt næringsholdigt, at jorderne stedvis trampes sammen til det rene mudder, og at den derfor kan frigive store mængder af drivhusgasser i løbet af den korte sommer fra november til marts.

Nyeste målinger og forsøg

Målinger de seneste år viser, at frigivelsen af drivhusgasser er høj. Det gælder specielt lattergas, som under iltfattige forhold omdannes af bakterier til lattergas og frit kvælstof. Vores studier viser, at specielt lattergas frigives i helt ekstreme mængder fra pingvinjorderne. Den største frigivelse ses, når jorderne er våde og dermed iltfrie. Derved opstår der iltfrie forhold, hvor der produceres



Feltmålinger af frigivelsen af lattergas nær en pingvinkoloni – her hjælper en turist i blå med arbejdet. Foto: Sophie Elise Elberling.

svovlbriente (som lugter af rådne æg), metan og lattergas. Alle tre gasser produceres af bakterier, som under disse ekstreme forhold effektivt nedbryder affald fra pingvinerne.

Sammenlignet med en dansk landbrugsjord efter tilført gylle og med samme adgang af ilt er frigivelsen af lattergas i pingvinkolonier i størrelsesordenen 10-40 gange større. Der er dog stor forskel på frigivelsen af lattergas i og omkring kolonierne, og der er målt helt op til 100 gange så stor frigivelse i forhold til en ny-gødsket mark i Danmark. Det gode spørgsmål er selvfølgelig, om flere

pingviner og flere prutter og anden aktivitet i Antarktisk kan påvirke det globale drivhusgas-regnskab. Svaret er formentlig nej. Arealet er for lille, og derfor er hovedinteressen i disse pingvinkolonier også knyttet til, hvilke bakterier der kan leve i sådanne jorder, hvilken betydning deres tilpasning har for deres aktivitet, og om vi kan udnytte disse egenskaber til at begrænse frigivelsen af drivhusgasser fra andre mere menneske-betingede aktiviteter.

Ny viden omkring processerne kan også helt konkret bidrage til at forstå det komplekse samspil

mellem omsætning af kulstof og kvælstof. Undersøgelser omkring pingvinkolonier viser nemlig, at tørre vegetationsfrie jorder uden pingviner kan optage metan fra atmosfæren og derved minimere en stærk drivhusgas i atmosfæren. Men når pingviner indtager nye landområder og tilføjer store mængder af kvælstof, så påvirker det de metan-oxiderende bakterier, og deres aktivitet bliver mindre eller stopper. Der er tale om naturlige processer og samspil, som er uden for menneskets rækkevidde, men som er dårlig beskrevet og nyttig i vores forsøg på at forstå klodens samlede drivhusgasbudget. ■



Læs mere:

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (eds.)].

Wang, P., D'Imperio, L., Biersma, E.M., Ranniku, R. Xuc, W., Ambus, P. & Elberling, B. (2019) Combined effects of glacial retreat and penguin activity on soil greenhouse gas fluxes on South Georgia, sub-Antarctica. *Science of the Total Environment*. Online November 2019, 135255.

Wang, P., D'Imperio, L., Liu, B., Ambus, P., Tiana, Q., Chena, J.M. & Elberling, B. (2019) Sea animal activity controls CO₂, CH₄ and N₂O emission hot spots on South Georgia, sub-Antarctica. *Soil Biology and Biochemistry* 132, 174-186.

← Rempingvinen er en af de arter, som er i fremgang; blandt andet fordi arten har været i stand til at ændre fødevalg i takt med et fald i bestanden af krill. Foto: Sophie Elise Elberling.

Ung brugerandel:

2014	2020
1,6%	3%

Andel af danske unge (15-25-årige), der har brugt kokain den seneste måned i henholdsvis 2014 og 2020.

Kilde: Center for Rusmiddel-forskning.

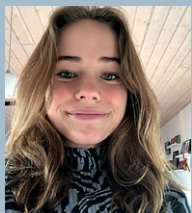


Foto: Colurbox

AFHÆNGIG AF RUSEN

Kokain er næstefter hash, det mest udbredte euforiserende stof i Danmark. Men allerede efter første gang man tager kokain kan man blive afhængig. Det hænger sammen med, hvordan kokainen påvirker det naturlige belønningssystem i hjernen via signalstoffet dopamin.

Forfatteren



Maya Christine Meilsøe Nykjær er nyslået student fra Vordingborg Gymnasium. Hun har skrevet studieretningsprojekt (SRP) i fagene bioteknologi A og Dansk A om kokains påvirkning af hjernen i forbindelse med de dopaminafhængige neuroner. Artiklen her bygger på hendes SRP. mcmnykjaer@gmail.com

Når unge står på dansgulvet, måske i dag bedre kendt som floor, på de danske klubber og diskoteker, er det ofte tekster som "Kaviar, kokain og kællinger" og "Suger coke fra dit røvhul", der brager ud af højtalere. Det er ikke længere kun sange om, hvor fedt kunstnerne har det, der bliver spillet, men hvor fedt de har det på grund af stoffer. At høre om kokain som noget normalt er derfor blevet en del af de unges hverdag, og desværre flourerer brugen af stoffet også – især i nattelivet og på gymnasierne. Da radio24syv i 2015 tog en stikprøve på ungdomsuddan-

nelserne, fandt de således spor af kokain på 9 ud af 12 uddannelser, for eksempel på toiletterne.

Der er dog ikke mange unge, der ved, hvad der egentlig sker i deres krop, når de sniffer en bane. Det handler denne artikel om. Mit håb er, at hvis unge bliver mere bevidste om, hvad der sker, når de tager kokain, og hvordan det skaber afhængighed, vil de være mindre tilbøjelige til at tage den første bane.

Hjernen på lykkepiller

Hvis du spiser et stykke chokolade eller ser en person, du godt kan lide, vil du føle større lyst, velbehag

og glæde. Disse følelser er en reaktion på, at et bestemt område i hjernen kaldet belønningscenteret bliver aktiveret. I den proces spiller transmitterstoffet dopamin hovedrollen. Når hjernen oplever noget, den kan lide, vil hjerneceller i et bestemt område i midthjernen kaldet det ventrale tegmentale område (VTA), sende signaler til hjerneceller i nucleus accumbens (NAc), der er en del af hjernens belønningscenter. Signalet starter ved, at cellerne i (VTA) vil udskille dopamin over det lille mellemrum, kaldet synapsekløften, der er mellem dem og cellerne i nucleus accumbens. Dopaminen vil binde

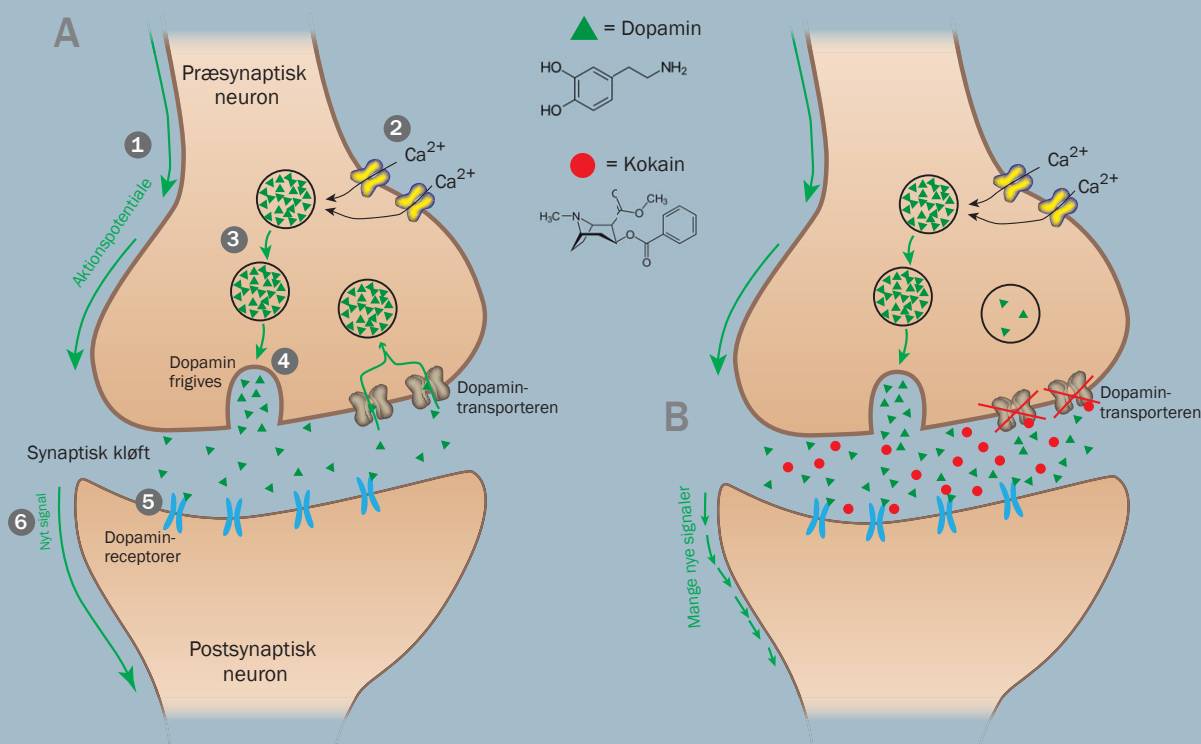
Sådan udbredes et nervesignal

Et nervesignal udbredes i en nervecelle som et elektrisk signal, et aktionspotentiale, mens det overføres fra den ene nervecelle til den anden som et kemisk signal via signalstoffer, såkaldte neurotransmittere (for eksempel dopamin). De to typer signaler er gensidigt afhængige, idet aktionspotentialet stimulerer frigivelsen af neurotransmittere, og styrken af signalet fra disse neurotransmittere bestemmer, om der opstår et nyt aktionspotentiale i modtagercellen, og signalet derved sendes videre.

Den kemiske overførsel sker i mellemrummet mellem to nerveceller (kaldet synapsekløften), hvor neurotransmitterne frigives fra små lommer, vesikler, i afsendercellen

og diffunderer over synapsekløften, hvor de binder sig til specifikke receptorer på modtagercellen.

Selve aktionspotentialet er en ændring i membranpotentialet, dvs. den elektriske spændingsforskel over cellemembranen. Aktionspotentialet udløses af særlige spændingsafhængige natriumkanaler, der åbner for, at natrium-ioner strømmer ind i cellen og depolariserer membranen. Efterfølgende åbner kaliumkanaler i membranen, så kaliumioner strømmer ud af cellen. Derved bringes den elektrokemiske gradient og dermed membranpotentialet tilbage til udgangspunktet (kaldet hvilemembranpotentialet).



A) Figur af en normal synapse: 1. Et aktionspotentiale depolariserer membranen. 2. Depolariseringen åbner calciumkanaler, og ioner strømmer ind i cellen. 3. Calciumionerne får vesikler med dopamin til at bevæge sig mod membranen. 4. Dopaminen bliver udskilt over membranen. 5. Dopaminen binder sig til receptorer på modtagercellen. 6. Signalet videregives i den nye celle. 7. Noget af dopaminen genoptages.

B) Viser en synapse, hvor kokain har blandet sig med dopaminen i synapsekløften. Kokain binder sig til dopamintransporteren og blokerer for den, så dopaminen ikke kan genoptages i cellen. Derfor er der nu store mængder dopamin i synapsekløften, som betyder, at der sendes mange nye signaler afsted.

sig til receptorer på cellerne i nucleus accumbens og derved sende signalet videre. På den måde vil hjernen opfatte, at der er noget, den godt kan lide.

Efter hjernecellerne i (VTA) har udskilt dopaminen, og signalet er sendt videre, kommer en del af dopaminen ind i cellerne igen via et genbrugssystem. På den måde er hjernen klar til at udskille dopamin

næste den gang, den oplever noget, som den godt kan lide.

Stoffet dopamin spiller altså en afgørende rolle i, at vi føler velbehag, når vi spiser et stykke chokolade. Hvis du til gengæld dropper chokoladen og tager en bane kokain i stedet for, sker der noget lignende i hjernen. Ligesom chokoladen vil kokainen påvirke belønningssystemet. Kokainen finder hjernecellerne i

(VTA), hvor den blander sig med dopaminen i mellemrummet mellem to celler. Kokainen vil her blokere for det protein i genbrugssystemet, der transporterer dopaminen tilbage i cellerne igen, da kokainen binder sig til denne dopamintransporter samme sted som dopaminen. Det betyder, at der kommer ekstra meget dopamin mellem nervecellerne. De vil blive overstimuleret, og cellerne i (VTA) vil sende mange



Hvor kommer kokain fra?

Kokain kommer fra planterne *Erythroxylon coca* og, også kaldet cocaplanterne. Inkaerne i Andesbjergene tyggede på bladene for at klare sig bedre i højderne og modvirke træthed. Kokainen blev først udvundet fra cocabladene i 1859 af kemikeren Albert Niemann. I 1880'erne blev det populært i lægekredse af blandt andet Sigmund Freud. I den illegale fremstilling af kokain bruger man mange miljøskadelige kemikalier, før det eksporteres ud i verden.

Foto Shutterstock.

Yderligere læsning:

Madsen, Lise Penter og Haugaard, Rolf. Det medicinerede menneske. Københavns Universitet Det Farmaceutiske Fakultet, 2007. Kapitel 10.

Beuming, Thijs et. al. The binding sites for cocaine and dopamine in the dopamine transporter overlap. *Nat neurosci*, 2008.

Kruk, Zygmunt and Pycock, Christopher. Neurotransmitters and drugs. Chapman&Hall, 1991.

Kokain: en kort historie, stiftelsen for en stoffri verden.

<https://dk.drugfreeworld.org/drugfacts/cocaine/a-short-history.html>

Claus Juul Løland: Hvordan påvirker kokain hjernen? Videnskab.dk.

Mads Uffe Pedersen et. al: Trivsel og brug af rusmidler blandt danske unge. Faglig rapport fra Center for Rusmiddelforskning, Aarhus Universitet 2020.

Sundhedsstyrelsen: Narkotikasituationen i Danmark – delrapport 1. Udbredelse af illegale stoffer i befolkningen og blandt de unge, 2018.

flere signaler til belønningssystemet end normalt. Denne overstimulering mærker vi som en følelse af eufori, lykke og velbehag; det man kalder rusen.

Det første, det bedste

Første gang, man tager kokain, vil koncentrationen af dopamin i hjernen være mange gange det normale. Belønningscenteret og dermed hjernen vil opleve en meget stor overstimulering, der fører til en eufori. Til sammenligning vil en normal stimulering som sex eller et stykke chokolade kun medføre en stigning på 50 til 100%. Det er derfor ikke overraskende, at kokain er vanedannende.

Men allerede efter første gang skal der mere kokain til, for at den samme eufori opleves igen. Da hjernecellerne ikke kan optage så meget dopamin gennem genbrugssystemet som normalt, kan cellerne ikke genbruge dopaminet. Det skaber en lavere koncentration af dopamin i hjernen. Næste gang, man indtager kokain, vil der derfor ikke være lige så meget dopamin at gøre godt med. Samtidig vil de receptorer, der opfanger og videregiver signalet om velbehag, trække sig væk fra modtagercellens overflademembran, så dopaminet ikke kan ramme dem. Det betyder, at der skal mere kokain til, for at cellen reagerer.

Når hjernen oplever en stor stigning af dopamin, vil den også begynde at producere proteinet CREB, som er en såkaldt transkriptionsfaktor, der binder sig til DNA og aktiverer bestemte gener. Disse gener er med til at skabe tolerance og afhængighed overfor kokain. Dette er endnu en faktor, der bidrager til, at der næste gang skal mere kokain til for at opnå samme effekt som sidste gang, man tog stoffet.

Hjernen ændrer sig altså på flere måder, når man tager kokain, som samlet betyder, at der skal mere og mere kokain til for at opleve en rus. Mange opnår aldrig at opleve en rus så kraftig som den første igen.

Afhængigheden indtræffer

Hjernen vil imidlertid huske den første rus, og hvor fantastisk det føltes. Kroppen vil blive ved med at efterstræbe denne følelse og rusen. Mange vil derfor hurtigt opleve psykiske abstinenser. Hvis man sammenligner med helt normale hverdagsituationer, er der en grund til, at man tager det ekstra stykke slik. Kroppen vil gerne opleve følelsen igen og igen.

De kortvarige boost af dopamin, når man tager kokain, vil ikke kun have betydning for indtagelsen af kokain, men også for livets helt normale glæder. Pludselig er det ikke særligt spændende, når det lokale fodboldhold vinder, eller at spise en god middag med vennerne. Hjernen vil mangle dopamin, og der skal mere til for, at belønningscenteret bliver aktiveret. Normale ting vil derfor ikke være nok til at tilfredsstille hjernen. Det eneste, der kan få dopamin-niveauet op på et normalt niveau og give glæde igen, vil være kokainen. Et misbrug er startet. I dag er der ingen medicin, der kan afhjælpe et kokainmisbrug, og det kan derfor være svært at komme ud af igen.

Når sne bliver til coke

En af de faktorer, der gør det svært for misbrugere at komme ud af afhængigheden, er, at de store mængder dopamin gradvist øger produktionen af et protein kaldet

Δ -FosB. Det er i lighed med det førnævnte CREB en transkriptionsfaktor, men der er dog forskel på de to. CREB bliver dannet allerede ved første indtagelse af kokain, mens Δ -Fos bygges gradvist op. CREB forsvinder desuden et par dage efter sidste rus, hvorimod Δ -FosB er langt mere stabil og bliver i kroppen flere måneder efter sidste rus. Δ -FosB aktiverer gener, der er med til at skabe en øget følsomhed overfor ting, der ligner kokain og som fremkalder minder om kokainrusen. Det kan for eksempel være en festscene, der minder det miljø, hvor man normalt tager kokain, eller måske et billede af sne, der minder om det pulver, som man plejede at sniffe. Når vores hjerne genkender sådanne ting, vil det sammen med erindringen om rusen sætte gang i trangen til mere kokain.

Kokain er det nye sort

Engang var kokain kun noget, rige mennesker havde råd til at skaffe. I 80'erne var kokain især udbredt blandt velhavende mennesker i underholdningsbranchen, som brugte stoffet til at leve livet i et højere gear og holde sig kørende på alle tidspunkter. Dengang var kokain sværere at få fat på og meget dyre. I 90'erne begyndte priserne dog at falde, og kokainen blev bredt ud til den almene befolkning. Forbruget hos unge mennesker viser en bekymrende udvikling de seneste år, idet en nylig rapport fra Center for Rusmiddelforskning viser, at andelen af danske unge, der har brugt kokain indenfor den seneste måned er steget signifikant fra 1,55 % i 2014 til 3,02 % i 2019. Det svarer til, at 24.600 unge mellem 15 og 25 år har brugt kokain den seneste måned.

I takt med, at de unge synger med på tekster som *Ude Af Kontrol* om kokain på diskotekerne, er det i højere grad blevet et feststof tilgængeligt for alle, og kokainen er derfor også kommet ud på gymnasierne. Og som vi har set i denne artikel, kan det desværre få konsekvenser for mange unge menneskers hjerner, både på kort og langt sigt. ■

BLIV
KLOGERE
PÅ DIN OPLEV
FREM TID EN
VIDEREGÅENDE
UDDANNELSE

UGE 43



LÆS MERE OG ANSØG PÅ
STUDIEPRAKTIK.NU

ANSØG I
STARTEN AF
SEPTEMBER





KABELBAKTERIER

– et unikt fund i Aarhus Havn

Lars Peter Nielsen (th) og Niels Risgaard-Petersen i færd med at tage sedimentprøver i Aarhus Havn. Sedimentet er fyldt med kabelbakterier. Fotos: Lars Kruse.

Strømførende bakterier var indtil for få år siden et nærmest utænkeligt fænomen. Nu finder forskere dem overalt i verden, efter danske forskere først fandt dem i Aarhus Havn.

»**D**et er faktisk enormt pinligt, at vi ikke fandt dem før. Vi har rodet i havbunden og i sedimentlagene i mange år, og man spørger sig selv, hvordan det har været muligt for os at overse dem.«

Sådan fortæller professor og centerleder Lars Peter Nielsen fra Center for Elektronmikrobiologi ved Aarhus Universitet. Han snakker om de kabelbakterier, som han sammen med sine kolleger fra Aarhus Universitet fandt på bunden af Aarhus Havn for omkring 10 år siden, og som siden da har ændret mikrobiologers syn på, hvad der er biologisk muligt.

Kabelbakterierne er nemlig i stand til at lede strøm over store afstande, ganske som en ledning du kan købe nede i byggemarkedet. Når de gør det, ændrer de fuldstændigt den kemiske sammensætning i havbunden og dermed også livsbetingelserne for alle de dyr, som lever der.

Man kan måske stille sig selv spørgsmålet: Hvor stort et aftryk nogle enkelte bakterier i havbunden kan sætte på havets økologi, men forskningen, som i disse år udspringer fra Aarhus Universitet, viser, at kabelbakterierne ikke skal ses som en kuriositet. De dominerer havbun-

den, hvor de kan stå for op til 80 procent af havbundens iltforbrug. Havbunden er deres kongedømme.

»Når man ser på, hvad vi ved i dag, er det slet ikke til at forstå, at vi har kunnet overse dem i faktisk mere end hundrede år,« siger Lars Peter Nielsen.

Forskerne troede det var en fejl

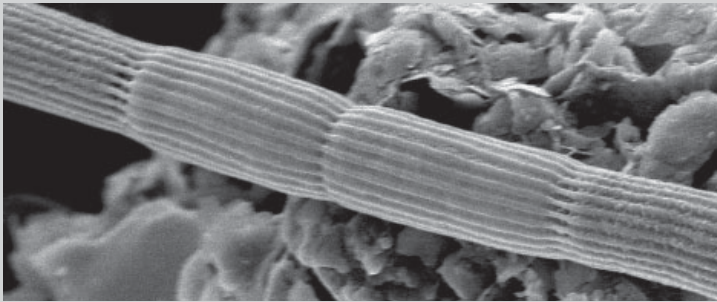
Vi starter fortællingen om kabelbakterierne, som var det et hvilket som helst andet eventyr, med "Der var engang". Der var nemlig engang, hvor ingen af verdens mange hundrede forskere, som dagligt undersøgte havbunden og det øverste

Forfatteren
Kristian Sjøgren

Forskeren
Lars Peter Nielsen er professor ved Institut for Biologi, Aarhus Universitet og leder af Center for Elektronmikrobiologi. lpn@bios.au.dk

Nærbillede af kabelbakterie set med elektronmikroskop. Man ser fire celler, og man ser tydeligt de langsgående ribber, hvor kabelbakteriernes "ledninger" ligger indeni.

Foto: Yuri Gorby and Anne Hynes (Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY).



Fakta om kabelbakterier

- Forskere har indtil videre identificeret to slægter af kabelbakterier, *Electrothrix* og *Electronema*, og under dem findes der henholdsvis fire salt- og brakvandsarter og to ferskvandsarter. Alle kabelbakterier falder ind under familien *Desulfobulbaceae*.
- Kabelbakteriernes ledninger sidder som lange ribber på langs af bakterierne. Forskningen fra Aarhus Universitet viser, at ledningerne sidder mellem bakteriens indre og ydre membraner.
- Kabelbakterierne er i modsætning til de fleste bakterier multicellulære. Det vil sige, at bakterierne består af flere celler. Man skal ikke betragte de enkelte celler som selvstændige bakterier, men derimod bakterien som summen af de mange celler, der godt kan have hver deres funktion. I kabelbakterien har nogle celler eksempelvis den funktion, at de skal afgive elektroner til ilt, mens andre optager elektroner fra sulfid.
- Én teskefuld sediment fra havbunden kan indeholde over én kilometer kabelbakterier.
- Endnu ved ingen, hvad de elektriske ledninger, som løber langs med kabelbakterierne, er lavet af.
- Én kabelbakterie kan blive mere end fem centimeter lang.



Mikroskopibillede af et sediment med aktive kabelbakterier. En del af sedimentet er udskiftet med lidt blød agar, så det er muligt at kigge igennem prøven. Billedet er orienteret ligesom i sedimentet på havbunden – dvs. for oven i billedet findes den iltige zone, og et stykke under billedudsnittet er der sulfid. Udsnittet fylder cirka ½ cm i højden.

Foto: Steffen Larsen og Lars Riis Damgaard

sedimentlag, havde forestillet sig, at i alle deres havbundsprøver fandtes en decideret verdenssensation. Året var 2007, og på Danmarks Miljøundersøgelser var Lars Peter Nielsen sammen med sine kollegaer i færd med at foretage nogle klassiske studier af havbundens kemi i Aarhus Havn.

I deres forsøg undersøgte forskerne iltforbruget i det øverste sedimentlag. Biokemisk er det øverste sedimentlag interessant, fordi der i sedimentet foregår kemiske og biokemiske processer, hvor sulfid (det, som får havbunden til at lugte af rådne æg) bliver brændt af med ilt som energikilde. Alt det sker i et tyndt lag, hvor bakterier står for en stor del af den kemiske reaktion og trækker energi ud af omdannelsen af sulfid til sulfat. Når forskerne måler på de forskel-

lige kemiske komponenter ned gennem en søjle af sediment, kan de da også se, at ilt ikke kommer længere ned i sedimentet end til reaktionslaget, og sulfidet ikke kommer længere op.

Denne del af de aarhusianske forskeres arbejde gik, som det skulle, men efter nogle uger i laboratoriet så forskerne noget, de ikke kunne forklare. Når de målte på deres sedimentsøjler, var iltlaget og sulfidlaget adskilt af en zone på flere centimeter, hvor der hverken var sulfid eller ilt.

»Vi kunne se, at begge stoffer blev brugt, selvom de ikke var i nærheden af hinanden, og vi kunne ikke forklare det med nogle kemiske eller naturlige fænomener. Så troede vi selvfølgelig, at vi havde lavet fejl i vores forsøgsopsætning og gjorde

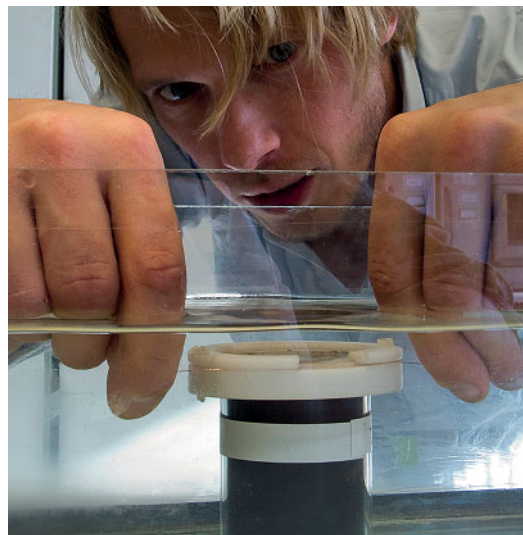
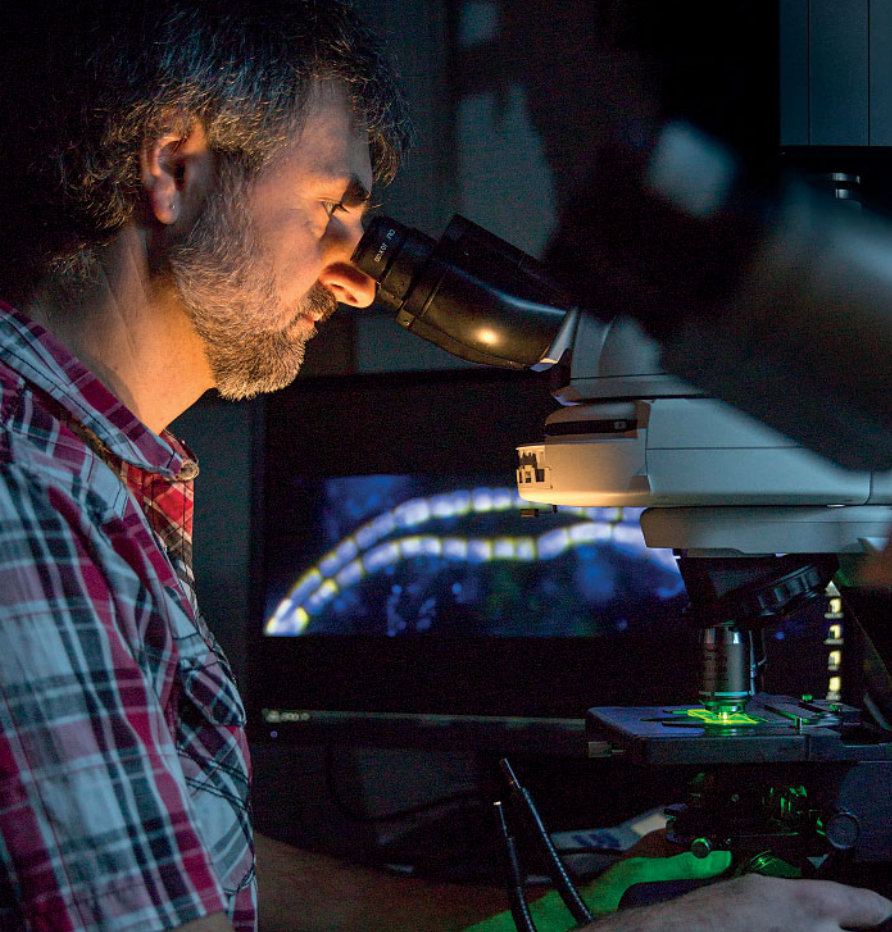
det hele én gang til med samme resultat,« fortæller Lars Peter Nielsen.

Noget elektrisk i sedimentlaget

Lars Peter Nielsen brugte både dag- og nattetimer på at fundere over fænomenet. Det var tydeligt, at ilt aldrig nåede længere ned i sedimentlaget end et par millimeter, før det reagerede med noget. Men det, som det skulle reagere med – altså sulfidet – fandtes først et par centimeter længere nede.

En sen nattetime vågnede han med den simple tanke, at når processen ifølge den kemiske ABC var en overførsel af elektroner fra sulfid til ilt, kunne det jo ske som en elektrisk strøm gennem ledninger, der spændte henover den tomme zone mellem sulfid og ilt.

»Jeg tænkte, at det var en helt tos-



↑ Et afgørende forsøg i opdagelsen af kabelbakterierne var, da forskerne skar en sedimentprøve over med en tynd tråd og på den måde "afbrød" strømmen i kabelbakterierne. Foto: Nils Risgaard-Petersen

← Kabelbakterier set i mikroskop. Professor Andreas Schramm får øje på kabelbakterierne efter at have mærket deres DNA med et fluorescerende stof, der lyser op, når man bestråler det med UV-lys. Foto: Lars Kruse

set tanke, men turde alligevel vende den med min gode kollega professor Niels Peter Revsbech, som er en rigtig dygtig kemiker. Han kunne ikke afvise ideen, og når vi regnede på konsekvenserne af at forbinde sulfidlaget med iltlaget med en ledning, passede beregninger også på det, som vi fandt i laboratoriet,« forklarer Lars Peter Nielsen.

Én af de ting, som skulle finde sted, hvis Lars Peter Nielsens antagelse var korrekt, var, at der skulle ske noget dramatisk med pH-værdien i sedimentlaget. Der skulle blive mere surt i sulfidlaget, hvor elektronerne kom fra, og mere basisk i iltlaget, hvor elektronerne blev deponeret. Det var præcis det, som de havde set i deres forsøg. Da de tjekkede den videnskabelige litteratur, opdagede de, at andre forskere havde fundet det samme uden at kunne give en forklaring.

»Vores var det første studie til at vise, at der er elektriske strømninger i havbunden. Tilbage i 2010 havde vi ingen god forklaring på, hvordan strømmen blev ledt gennem havbunden, men beviserne var klare, og de kunne ikke umiddel-

bart skydes ned af vores kollegaer. Vores næste opgave var så at finde ledningerne,« siger Lars Peter Nielsen.

Bakterier var ledninger i sig selv

Ledningerne fandt forskerne i 2012 efter en masse forskellige forsøg med sedimentlag. De skar blandt andet vandret gennem sedimentet og fandt på den måde ud af, at det ledningsførende element måtte være en fast struktur, fordi når de skar i sedimentlaget, stoppede strømmen. De prøvede også at lægge forskellige filtre ind mellem sulfidlaget og iltlaget for at se, hvor store strukturerne måtte være. Her fandt de, at hvis hullerne i filtret var mindre end én mikrometer, stoppede strømmen. Én mikrometer er cirka størrelsen på en bakterie. Det understregede, at forskerne formentlig havde at gøre med ledninger skabt af bakterier. Og rigtig nok fandt de i sedimentlaget masser af RNA af nogle dengang ukendte bakterier – problemet var bare, at ifølge gensekvensen burde disse bakterier ikke omdanne sulfid til sulfat, men gøre det stik modsatte.

Alligevel designede forskere nogle fluorescens-mærkede prober for at kunne finde ud af, hvordan disse bakterier så ud.

Det endelige gennembrud kom, da det lykkedes lektor Nils Risgaard-Petersen at lægge et lag af glaskugler ind mellem iltlaget og sulfidlaget. Da forskerne kunne se, at der gik en strøm mellem de to lag, måtte det strømførende element jo være mellem glaskuglerne. Forskerne brugte deres fluorescens-mærkede prober og spærrede øjnene op, da de kiggede i deres fluorescens- og elektronmikroskoper.

»Vi så filamentøse bakterier med de nu berømte, langsgående ribber. Der indså vi, at bakterierne ikke lavede noget, som var strømførende. De var ledninger i sig selv – levende ledninger,« fortæller Lars Peter Nielsen.

Opdagelsen var et kæmpe chok. På daværende tidspunkt fandtes der ikke nogen beskrivelser af noget tilsvarende i hele biologien. Nanowire kunne være strømførende, men kun over afstande på omkring én mikro-

Det handler om energi

Kabelbakterier står nærmest lodret i sedimentet og forbinder et iltigt lag i den ene ende (foroven) med et sulfidlag i den anden ende. Når kabelbakterien skal bruge energi, tager den elektroner fra sulfid og benytter dem i forskellige biokemiske processer, indtil elektronerne til sidst bliver sendt op og deponeret på et iltatom i den anden ende.

En fascinerende ting ved kabelbakterier er denne arbejdsdeling mellem top og bund. Forskerne mener, at vækst og energi kun bliver skabt i cellerne foroven, mens cellerne foroven ikke laver andet end at bruge ilt og komme af med elektronerne så hurtigt som muligt. Bakterierne sørger for at lave et energilager i cellerne for neden, og når de celler skal op at have en tur med ilt, så har de det lager med sig.

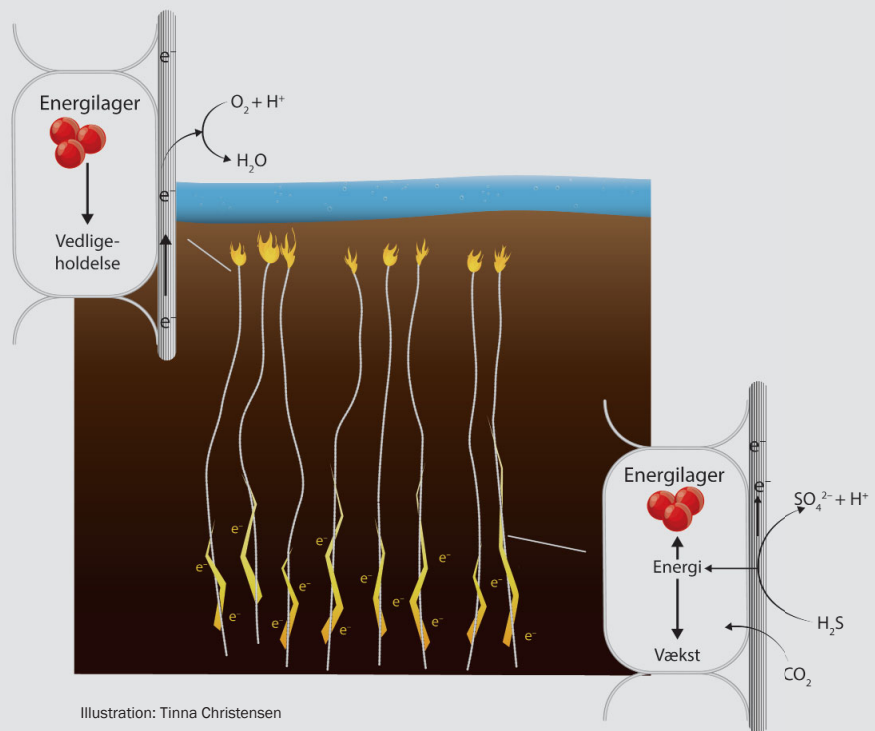


Illustration: Tinna Christensen

meter. Kabelbakterierne var flere tusinde gange større. De levede på en helt ukendt måde.

Flår elektroner af sulfid for at give det til ilt

Siden opdagelsen af kabelbakterierne i Aarhus Havn har forskningen i dem kastet en masse resultater af sig, og forskerne har stablet et helt forskningscenter, Center for Elektromikrobiologi, på benene omkring forskningen i dem. I dag forstår forskerne derfor store dele af kabelbakteriernes biologi og funktion.

Helt simpelt lever kabelbakterien i havbundens øverste sedimentlag. Den er flercellet og kan blive flere centimeter lang med tusindvis af celler i forlængelse af hinanden. Forskerne har indtil videre lykkedes med at hale en fem centimeter lang bakterie ud af sedimentet, men Lars Peter Nielsen tror, at de kan blive endnu længere.

Kabelbakterien står nærmest lodret i sedimentet og forbinder iltlaget i den ene ende med sulfidlaget i den anden. Når kabelbakterien skal bruge energi, tager den elektroner fra sulfidlaget og benytter dem i

forskellige biokemiske processer, indtil elektronerne til sidst bliver deponeret på et iltatom i den anden ende. Når ilt optager en elektron, følger en proton med og omdanner ilt til vand.

»Det er enormt smart, for på den måde udkonkurrerer kabelbakterierne alle de andre bakterier, der har behov for, at iltlaget og sulfidlaget ligger lige op ad hinanden. De har fuldstændigt monopoliseret fortæringen af sulfid. I vores beregninger kan vi se, at når det gælder havbundens samlede iltforbrug, kan kabelbakterierne stå for op imod 80 procent,« fortæller Lars Peter Nielsen.

Kabelbakterier alle vegne

Center for Elektromikrobiologi spytter sammen med forskningscentre rundt om i verden hele tiden nye fascinerende opdagelser om kabelbakterierne ud. Blandt andet viser forskningen, at kabelbakterierne ikke er isoleret til Aarhus Havn. Faktisk findes de over alt i verden, og det er en større nyhed, hvis forskerne ikke finder dem, end når de gør. Det gælder både på land og under vand.

»De ser ud til at være i alle vandløb, søer, kystnære områder og ved varme kilder. Hvis der er iltmangel, er de der. Det gælder også i undergrunden ved grundvandet, når iltten slipper op. Det eneste sted, hvor vi indtil videre ikke har kunnet finde dem, er i de store oceanbunde, hvor iltlaget i havbunden er flere centimeter tykt,« siger Lars Peter Nielsen.

Den store udbredelse gør også, at vi ikke bare taler om én art af kabelbakterier, men mange forskellige arter fordelt over mindst to slægter. Forskerne er netop nu i færd med at kortlægge, hvor de forskellige arter lever, og hvad der er afgørende for, hvem der lever hvor.

Beskytter havbundens dyr mod giftigt sulfid

Et af de mere fascinerende kabelbakterie-fund kommer faktisk slet ikke fra laboratoriet i Aarhus, men fra internationale forskerkolleger. De til dels hollandske forskere undersøgte i et studie mængden af kabelbakterier i sedimentlaget henover en række sæsoner, og deres opdagelser kan være med til at forklare, hvordan sedimentlevende

Amøber spiser kabelbakterier

I foråret 2014 stod professor Lars Peter Nielsen sammen med 20 studerende og kiggede med opspilede øjne på en skærm i undervisningslokalet. Det, de så, var både chokerende og fascinerende. På skærmen var der en voldsom forstørrelse af noget, som foregik under mikroskopet – en amøbe kom krybende ind i skærbilledet og slugte en kabelbakterie, som var det spaghetti på en italiensk restaurant.

Amøbens ageren fik Lars Peter Nielsen til at udsende et jubelbrøl. Lige siden opdagelsen af kabelbakterierne i 2012 havde forskerne nemlig oplevet, at de filamentøse bakterier ikke altid var lige så lette at arbejde med, som forskerne kunne have ønsket sig. Nogle gange forsvandt de simpelthen fra forskernes prøver, uden at forskerne havde nogen idé om, hvor de forsvandt hen. De spekulerede over, om surhedsgraden i muddret

havde været helt skæv, eller om kabelbakterierne manglede mad. Begejstringen i opdagelsen bestod i, at forskerne for første gang havde opdaget en organisme, som åd kabelbakterierne.

Faktisk er amøberne så små, at de slet ikke burde være i stand til at spise de lange kabelbakterier, men amøberne gør meget simpelt det, at de knækker dem sammen og ruller et stykke ind i en vakuole, hvor cellernes næringsholdige indhold suges ud, inden det hele spyttes ud igen – tilsyneladende med ledninger i behold.

Den gode nyhed for forskerne i 2017 var, at de meget let kunne gøre noget ved problemet. De skulle bare smide de bakteriekulturer, som indeholdt amøberne, ud og fortsætte med de kulturer, som var amøbefri.

dyr i mange tilfælde er i stand til at overleve iltsvind.

De fleste dyr i havbunden godt kan overleve uden ilt i forholdsvis lang tid, men de bliver slået ihjel af svovlbrinte, som ofte ses i forbindelse med iltsvind, når ilten ikke længere er der til kemisk at reagere med svovlbrinten.

Kabelbakteriernes kemiske aktiviteter er dog i stand til at mobilisere en masse oxideret jern i overfladen af havbunden. Jernet binder til både svovlbrinte og fosforholdige molekyler, og derved fjernes en del af den giftige svovlbrinte samt fosfor, der kan være årsag til eutrofiering og iltmangel i havbunden.

»Kabelbakterierne spiller på den måde en vigtig økologisk rolle ved at danne en stor buffer i sedimentlaget, og den buffer kan svovlbrinte ikke komme igennem,« fortæller Lars Peter Nielsen.

Genom gemte på overraskelser

Med professor Andreas Schramm i spidsen har forskerne fra Aarhus Universitet også kortlagt kabelbakteriernes genom, og det rummede en masse interessante overraskelser. Blandt andet viser generne, at kabelbakterierne slet ikke benytter

samme enzymer og proteiner til at snuppe elektroner fra sulfid, som andre bakterier gør. De har i stedet udviklet en helt anden måde at gøre det på, og den måde arbejder forskerne netop nu på at lave en model for. I stedet for at benytte den konventionelle metode, ser det ud til, at kabelbakterierne har vendt en proces, som sulfidproducerende bakterier benytter sig af, på hovedet.

Kabelbakterierne har heller ikke de enzymer, som andre iltforbrugende bakterier benytter til at reagere med ilt. Det betyder, at cellerne i den ende af kabelbakterien, som vender op mod iltlaget i sedimentet, næppe får noget energi ud af processen. Bakterierne kører bare elektronerne op langs ledningerne, og så sørger et endnu ukendt enzym for, at elektronerne bliver ført over på iltmolekylerne.

»Faktisk er det kun meget få celler i den ende af bakterien, som sørger for at overføre elektronerne til ilt,« forklarer Lars Peter Nielsen.

Kabelbakterier og miljøgenoprettelse

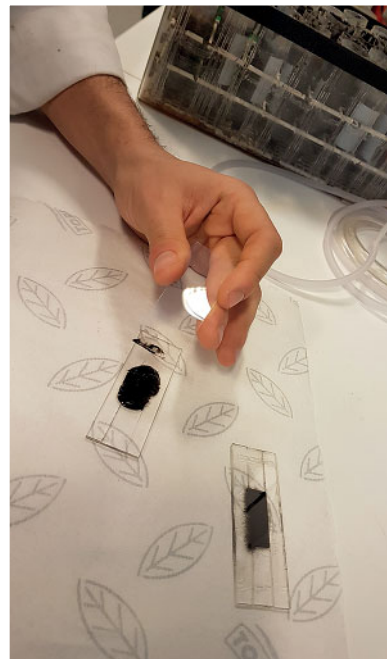
Det interessante spørgsmål er selvfølgelig, hvad man så kan bruge kabelbakterierne til? Her er det vigtigt at slå fast, at forskningen i

kabelbakterier stadig er i de tidlige stadier, men forskerne har alligevel nogle bud.

For det første, er der hele miljøperspektivet. Da kabelbakterierne har så stor betydning for iltsvind og næringsstofcyklusser i hav- og søbund, skal deres bidrag tages med i beregningerne, hvis man vil forudsige, hvordan forskellige forstyrrelser kommer til at få indflydelse på miljøet. Det kan være, at der forekommer iltsvind i en fjord eller lignende, og hvis forskere vil regne på, hvordan livet og kemien i havbunden kommer til at forme sig fremadrettet, er det vigtigt at have kabelbakteriernes bidrag med i ligningen som en afgørende spiller.

På samme måde kan det være vigtigt at tænke kabelbakterier ind i genetablering af vådområder. Hvis man vil genoprette et vådområde, bør man designe det til at have gode betingelser for kabelbakterier, da de ser ud til at hjælpe med at holde miljøkvaliteten høj.

Rismarker er også en form for vådområder, og her har forskerne i laboratorieforsøg for nylig fundet, at emissionen af den vigtige drivhusgas metan var mere end ti gange højere, hvis der ikke var kabelbakterier tilstede.



Ph.d.-studerende Stefano Scilipoti i færd med at klargøre sedimentprøver til mikroskopipræparater, hvor man kan studere bakterierne, mens de er levende og aktive.
Fotos: Maria Blach Nielsen.

Forureningsundersøgelser med kabelbakterier

Et andet interessant og potentielt set praktisk perspektiv ved kabelbakterierne er, at de skaber et elektrisk felt omkring dem, når de flytter elektroner fra den ene ende til den anden. Det elektriske felt påvirker alle salte og ioner i omgivelserne, så de begynder at bevæge sig.

Forskerne har allerede udviklet en sensor, som kan måle på spændingsfeltet, og på den måde kan de fra overfladen se kabelbakteriernes tilstand i undergrunden.

Det viser sig, at de spændingsfelter flugter med nogle erfaringer, man har omkring forurening i undergrunden. Man har set, at hvis der er forurening, så ændres spændingen på overfladen, og det passer med, at bakterierne er i gang med at nedbryde forureningen. På den måde kan man forestille sig, at man med målinger af spændingsfeltet på overfladen kan sige noget om, hvorvidt der er olieforurening eller andet i undergrunden.

Forskerne har netop startet et projekt med støtte fra Innovationsfonden, hvor de vil afdække potentialet i dette. Kan man bruge elektroder på jordoverfladen til at finde forurening i undergrunden, kan man spare en masse dyre borer.

Kan åbne op for bedre bioelektronik

Det sidste interessante perspektiv, som forskerne dog ikke er kommet så langt med endnu, er inden for bioelektronik.

Evnen til i levende organismer at føre en elektrisk strøm kan have anvendelsesmuligheder inden for blandt andet den medicinske verden, hvor alt fra insulinsensorer og pacemakere til høreapparater og

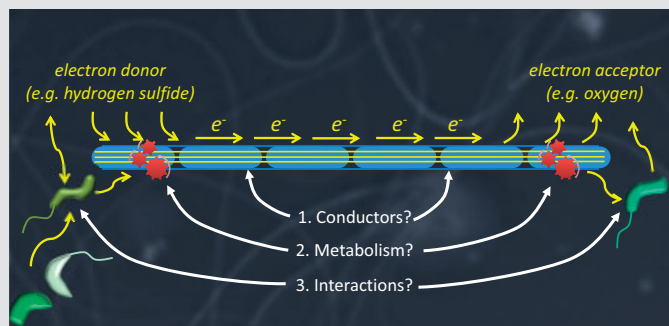
kunstige lemmer potentielt set kan tilknyttes kroppen og hjernen med biologiske ledninger frem for kobber og plastik. Man kan også forestille sig bionedbrydelig elektronik, som kan indopereres i kroppen, og som så forsvinder med tiden.

»Vi er ikke kommet så langt inden for det her felt, som vi er inden for det med forurening, men det er også noget, som vi arbejder på,« fortæller Lars Peter Nielsen. ■

Center for Elektromikrobiologi

Center for Elektromikrobiologi blev oprettet i 2017 med en bevilling fra Danmarks Grundforskningsfond. På centeret arbejder 25 forskere og studerende på at forstå kabelbakterierne.

De tre overordnede spørgsmål, som forskningscenteret gerne vil besvare er, hvad der konkret leder strømmen i kabelbakterierne, hvordan bakterierne bruger strømmen og hvilket samspil, de har med andre bakterier og miljøet:



NABOHJÆLP I PLANTEVERDENE

Forskernes forståelse af konkurrence i planteverdenen ændrer sig i disse år. Meget tyder nemlig på, at planter kan samarbejde på flere måder end hidtil antaget, og nogle planter kan endda genkende deres nærmeste slægtninge og reagere derpå ved at konkurrere mindre med hinanden.

Godt naboskab er noget, de fleste mennesker sætter pris på her i tilværelsen. Men gælder det også for planter? Det spørgsmål er slet ikke så dumt, som det lyder. De senere år er forskere nemlig nået til en gryende erkendelse af, at planter ikke altid bare konkurrerer vildt og blodigt om ressourcerne med deres nærmeste naboer, men i nogle tilfælde faktisk samarbejder.

»I det hele taget er vi planteforskere blevet klar over, at planter vekselvirker med hinanden på mere komplekse måder, end vi hidtil har antaget, og det har betydning for, hvordan vi helt grundlæggende forstår planters økologi, biodiversitet og evolution,« siger Bodil Kirstine Ehlers, der er seniorforsker på Bioscience ved Aarhus Universitet. »Traditionelt har vores tilgang til at forstå planters vekselvirkninger bygget på at forstå konkurrence, og derfor er det lidt af et nybrud, at vi nu også skal forholde os til, at planter kan samarbejde«.

Planter kan genkende naboen

Mens det er et udbredt fænomen i dyreverdenen, at individer af en art kan samarbejde til fælles bedste, har den traditionelle forståelse af planteverdenen været, at her er frænde frænde værst. Det skal forstås sådan, at jo nærmere genetisk beslægtet to planter er, jo mere ens vil de være i deres ressourcebehov, og jo mere vil de derfor konkurrere om de samme ressourcer. »Faktisk



Bodil Ehlers og Perrine Gauthier i færd med transplantationsforsøg i feltet, hvor de flytter rundt på planter, så de kommer til at vokse sammen med en nabo med en anden kemisk profil, end de er vant til. Foto: Thomas Bataillon

har dette været forklaringen på, hvorfor der kan optræde høj plante-diversitet i naturen med mange forskellige arter indenfor et begrænset område. For den mere intense konkurrence mellem planteindivider af samme art, i forhold til konkurrence på tværs af arter, vil gøre, at det er svært for en enkelt art at blive dominerende, og det giver plads til andre arter,« fortæller Bodil Ehlers.

De senere års forskning har imidlertid stillet spørgsmålstegn ved denne simple forklaringsmodel.

»Vores forsøg med planten sneglebælg (medicago) viser for eksempel, at når den gror tæt på en nær slægtning, vokser den simpelthen mindre aggressivt over mod naboen, end hvis det er planter af andre arter. Det kan man helt konkret se

Om forfatteren
Af Carsten R. Kjaer,
Aktuel Naturvidenskab
crk@aktuelnaturvidenskab.dk



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

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

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

ved, at rodnettet bliver mindre i retning mod naboen. Hos andre plantearter har man også set andre måder at reducere konkurrencen mod slægtninge – for eksempel at de er mindre tilbøjelige til at vokse, så de “overskygger” naboen,« fortæller Bodil.

Et godt spørgsmål er så, hvordan planten kan mærke, at det er en slægtning, den har ved siden af sig og ikke en tilfældig anden plante. Forskerne mener, at det blandt andet foregår via en væske, planter udskiller fra deres rødder – et såkaldt eksudat.

»Vi har lavet forsøg med Medicago, hvor vi har tilsat aktivt kul til jorden, som binder rodeksudaterne. Og når planterne på den måde mister deres “lugtesans” reagerer de anderledes sammenlignet med planter, hvor vi ikke har tilsat aktivt kul til jorden. De konkurrerer simpelthen meget kraftigere, hvis de ikke kan genkende deres nabo som en af deres egne,« siger Bodil.

Planter som ingeniører

At vekselvirkningen mellem planter ikke altid er negativ i form af konkurrence, hvor den stærkeste vinder, men at planter også kan hjælpe hinanden, kender man en del eksempler på, når man kigger på vekselvirkningen på tværs af arter.

»For eksempel kan man i ørkenmiljøer se, at visse plantearter, der tåler det tørre miljø, skaber et mikromiljø omkring sig, hvor der er lidt mere skygge, vådere og flere næringsstoffer, som gør det muligt for andre plantearter at vokse der, selvom de normalt ikke ville kunne klare ørkenmiljøet,« siger Bodil.

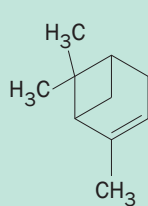
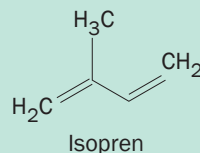
Man skal ikke opfatte denne form for vekselvirkning som det, vi kalder symbiose eller mutualisme, hvor organismer vekselvirker til gensidig fordel. Der er nærmere tale om, at visse planter virker som små ingeniører, der former nærmiljøet omkring sig. Nogle planter som timian og en række andre aromatiske planter fra Middelhavsområdet (som lavendel, oreganum, rosmarin og sar) kan i særlig grad gøre det, fordi de producerer potente kemiske stoffer, som de spreder i både jorden og atmosfæren omkring sig.

Den karakteristiske duft af timian skyldes en gruppe kemiske forbindelser kaldet monoterpen, som findes i en hel række varianter i timian. Monoterperne har

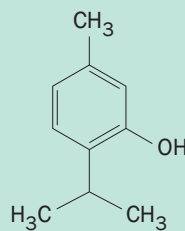
Monoterpen og plantebeskyttelse

Monoterpen tilhører som navnet antyder en gruppe molekyler kaldet terpen, der er vidt udbredt i planteriget. De kan have vidt forskellige strukturer, men er alle grundlæggende opbygget af et antal enheder af isopren, som har bruttoformlen C_5H_8 . Monoterpen er således opbygget af to isopren-enheder og får derfor bruttoformlen $C_{10}H_{16}$.

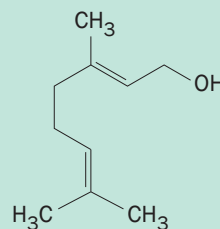
Monoterperne har mange forskellige funktioner i planterne, og det er ofte dem, der giver planterne deres karakteristiske duft – for eksempel er menthol, kamfer og limonen (findes i citrusfrugter) monoterpen. Der kendes flere end 30.000 forskellige monoterpen, og det er derfor ikke overraskende, at deres biologiske funktion er mangfoldig. De kan virke afskrækkende og giftige for planteædere, tiltrækkende på insektbestøvere og kan både hæmme og stimulere væksten af mikroorganismer.



α-pinen



Thymol



Geraniol

Den kemiske struktur af isopren samt tre eksempler på monoterpen. Thymol giver den klassiske timianduft, mens geraniol også findes i timian, men dufter mere af citron. Alpha-pinen forbinder man typisk med duften af fyrrenåle. Denne monoterp kan beskytte mod frost.

Monoterpen er, hvad man kalder flygtige organiske forbindelser (eller VOC'er efter det engelske Volatile Organic Compound), hvilket betyder at de let fordampes ved stuetemperatur og normaltryk og opblandes i den omgivende luft. Derfor bliver naboplanter til planter som timian, der indeholder en høj koncentration af monoterpen, konstant udsat for en “sky” af monoterpen.

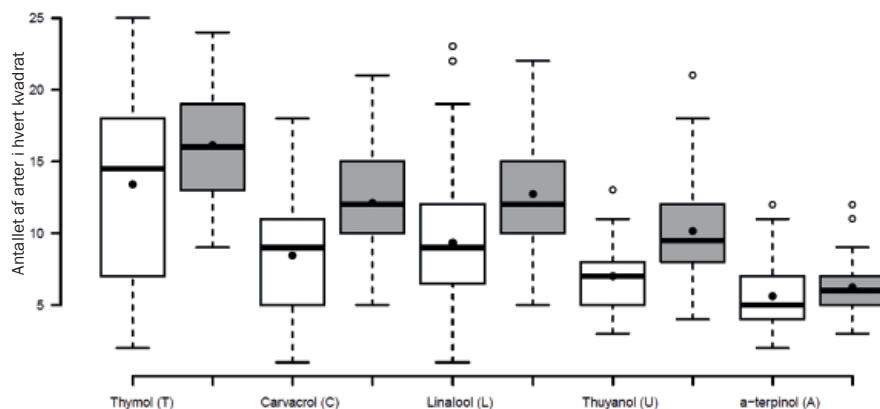
I sin forskning undersøger Bodil K. Ehlers sammen med sine kolleger, om naboarter kan drage nytte af dette kemiske bombardement ved at låne de egenskaber, som monoterperne har, så de bliver mere tolerante overfor klimastress. Tolerance overfor temperatur- og tørkestress afhænger blandt andet af evnen til at regulere, hvor flydende cellemembranerne er, så deres funktion kan opretholdes under stress. Fordi monoterpen er både volatile og lipofile (fedtelskende) kan de ved diffusion optages i cellemembraner, hvilket øger membranernes fluiditet, og det kan derfor øge tolerancen over for klimastress. Desuden er mange monoterpen også anti-oxidanter, der neutraliserer de skadelige reaktive oxygen-specier, som dannes, når organismer udsættes for stress.



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK



Konkurrence mellem planter undersøges i laboratoriet ved at lade planterne gro tæt sammen i en potte. Foto: Sara Tomiolo.



Figuren viser resultater fra undersøgelse af plantediversiteten i 500 kvadrater af 0,5 m² med (grå) og uden (hvide) timian med få meters afstand på en lokalitet i St Martin de Londres dalen i Sydfrankrig. De forskellige timiansamfund er domineret af hver sin kemiske type. Det fremgår, at plantediversiteten er højere, når timian er til stede.

mange forskellige funktioner i timian. Eksempelvis virker de som forsvarsstoffer overfor både skadedyr og andre planter, de er med til at gøre planten mere modstandsdygtig overfor temperaturstress og tørke, og så kan de påvirke væksten af jordbakterier og ændre tilgængeligheden af kvælstof i jorden. Monoterpener findes i mange forskellige plantearter, men de findes koncentreret i aromatiske olier hos nogle planter som timian. Når monoterpener frigives, kan de signifikant ændre kemien i nærmiljøet i både jorden og atmosfæren. Og derigennem påvirker timian alle de plantearter, der vokser i nærheden.

Ofte virker den "kemi", som planter frigiver til miljøet, decideret giftig på andre plantearter. Da Bodil og hendes kolleger satte sig for at undersøge, hvordan det påvirker andre plantearter i et område i Sydfrankrig at vokse med en så dominerende kemisk nabo som timian, forventede de derfor, at det var et relativt lille antal planter, der var i stand til at tolerere det.

»Men til vores overraskelse fandt vi, at det forholdt sig stik omvendt: Der var en større mangfoldighed af planter i forsøgskvadrater med timian end dem uden timian. Så naboplanterne led altså tilsyneladende ikke under timians kemiske åg – tvært imod,« siger Bodil.

Tid er den afgørende faktor

At det ikke nødvendigvis er nogen fordel at have timian som nabo, kan man blot tage et smut til New Zealand for at konstatere. For her virker timians tilstedeværelse stik omvendt af, hvad den gør på lokaliteten i Sydfrankrig. Timian er ikke naturligt hjemmehørende i New Zealand, og her breder den sig invadivt og danner store monokulturer på bekostning af den lokale flora.

»Pointen er altså, at når andre planter møder timians monoterpener første gang, kan de virke som en gift – et masseudryddelsesvåben. Men som tiden går, vil de lokale planter og deres jordfauna tilpasse sig, og så kan det udvikle sig til en situation som på lokaliteten i Sydfrankrig, hvor timian decideret virker fremmede på plantediversiteten. Så tid er en afgørende faktor. De steder, hvor de lokale planter har vokset sammen med timian i lang tid, er timian en gevinst for plantediversiteten – de steder, hvor den for nylig er introduceret, kan timian udkonkurrere de lokale planter, der er naive overfor dens kemi«, forklarer Bodil.

Denne pointe bliver yderligere understreget, når man kigger nærmere på, hvordan planterne på lokaliteten i Sydfrankrig er tilpasset deres timian-naboer. Hvis man bevæger sig rundt i området, vil

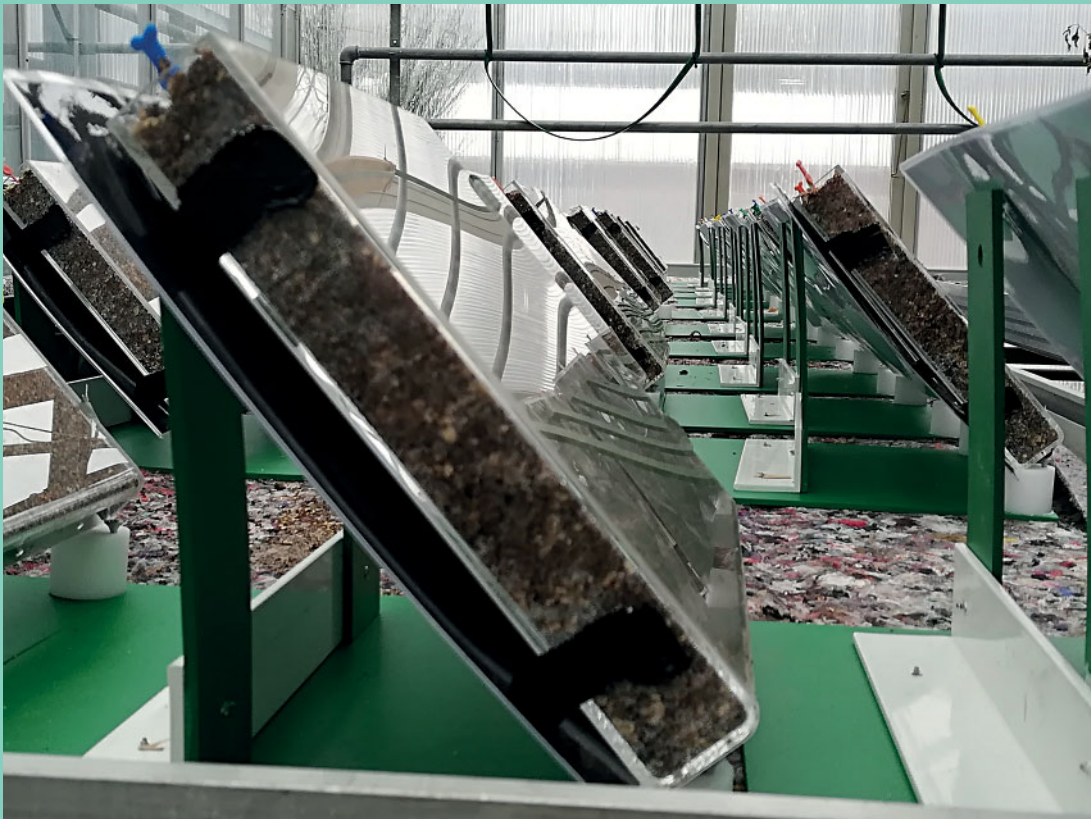
man opdage, at duften af timian ikke bare er ensartet, men varierer lokalt. Det skyldes, at der er lokale forskelle på de monoterpener, som timian producerer. Det har vist sig, at de planter, der klarer sig godt med timian som nabo ikke bare er tilpasset timian som sådan, men netop den lokale variant af monoterpener, som timian producerer i nærområdet.

»Vi har i vores forskning vist, at hvis man tager en plante, der vokser tæt på timian, og flytter den hen til en anden timianplante, der producerer en anden monoterpen, vil planten klare sig dårligere.«, siger Bodil.

Låner egenskaber fra naboen

Men hvad er det så mere konkret, der foregår, når en plante drager fordel af en anden plantes kemi? En mulighed er, at planterne kan optage monoterperne gennem bladene ved passiv diffusion og derefter drager nytte af deres egenskaber – for eksempel til forsvar mod at blive spist eller at blive mere tolerant overfor klimastress.

»Vi har for nylig undersøgt, om sneglebæg bliver bedre til at modstå frost- eller tørke, hvis de bliver udsat for flygtige kemiske forbindelser i form af monoterpener, som de ikke selv producerer. Og resultaterne peger på, at det gør de faktisk,« siger Bodil.



Planterødders adfærd som respons på naboplantens identitet ("søskende eller ej") studeres her i transparente pletter. Forsøgsopstilling med pletter på skrå og en mørk underside (der kan fjernes) tvinger planterens rødder til at vokse langs undersiden af den transparente plette. Her ved kan røddernes væksthastighed imod en naboplante følges og måles over tid. Foto: Sara Tomiolo

Evolution, selektion og fitness

Evolutionens råmateriale er den genetiske variation, der findes indenfor en art, og som kommer til udtryk i, at de enkelte individer kan have lidt forskellige egenskaber – for eksempel hvor godt de tåler tørke. Hvis det lokale klima ændrer sig, så der oftere er tørke, vil de individer, der tilfældigvis besidder egenskaber, der gør dem gode til at tåle tørke, bedre overleve og få flere afkom end individer, der ikke har den egenskab. De gener, der ligger bag denne egenskab vil blive givet videre i afkom af tørketolerante forældre og derfor brede sig i populationen. Det er denne mekanisme, der ligger bag begrebet naturlig selektion.

Fitness er et nøglebegreb indenfor evolutions- og populationsbiologien. Det er et kvantitativt mål for, hvor godt individer med en given egenskab klarer sig – dvs. hvor mange af sine gener, et sådant individ har givet videre til den næste generation. I praksis måler forskere typisk et individs fitness som dets overlevelse og antal

afkom, det producerer i et givet miljø. Det er ikke altid muligt at måle dette, og forskere benytter sig derfor ofte af mål som individets vækst eller størrelse, som man ved ofte er positivt korreleret med overlevelse og reproduktion (man kalder det fitness-proxies).

Kin-selektion er en form for naturlig selektion, som kan forklare spredning af egenskaber, der umiddelbart ikke gavner individet selv – som altruisme, hvor nogle individer ofrer deres egen overlevelse eller reproduktion for at hjælpe andre individer. Hvis en "hjælper" er genetisk beslægtet med det eller de individer, det hjælper, vil mange af deres gener være identiske. Fordi fitness måles i, hvor mange af ens gener, der er repræsenteret i de næste generationer, kan uselviske handlinger forklares evolutionært, hvis det er en nær slægting, der hjælpes. Hjælper man sin søster til at få to afkom, får man ligeså mange af sine egne gener repræsenteret i næste generation, som hvis man selv fik ét afkom.

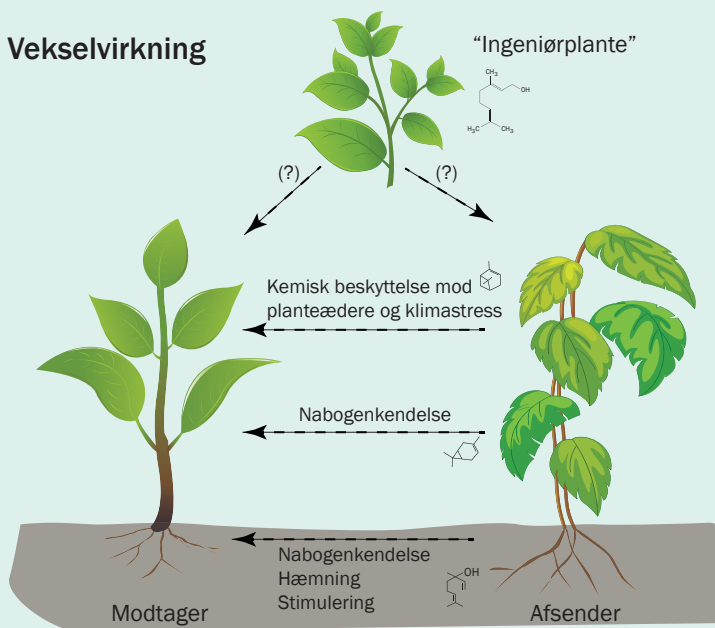
Hun understreger, at det bestemt ikke er alle monoterpener, der har en sådan gunstig effekt – nogle af dem slår decideret planterne ihjel. I de kontrollerede forsøg har forskerne også brugt koncentrationer af stofferne, som man næppe finder i naturen. Monoterpenene er flygtige

stoffer, som hurtigt forsvinder, når de er luftbårne, så man kan spekulere at deres effekt på naboplanterne kan være relativt kortvarig. Derfor undersøger Bodil og kolleger nu, om de kan have en længerevarende effekt, hvis naboplanterne også kan optage dem fra jorden.

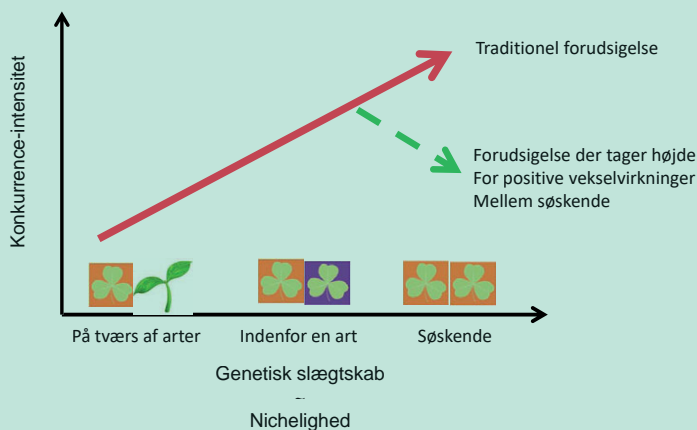
Nabohjælp som evolutionær strategi

»Vi er helt overordnet interesseret i at forstå de underliggende evolutionære processer, der har ført til, at planter enten hjælper hinanden eller ikke gør det, både indenfor og på tværs af plantearter« siger Bodil.

Vekselvirkning



Planter kan vekselvirke på flere måder gennem udveksling af flygtige organiske forbindelser (VOC'er) både gennem bladene og rødderne. Vekselvirkningen kan være positiv – eksempelvis ved, at en plante kan blive beskyttet af den kemi, en anden planter producerer, eller den kan være negativ, ved at plantens vækst direkte hæmmes. Vekselvirkningen mellem to planter kan endvidere afhænge af det lokale, kemiske miljø end helt tredje plante skaber illustreret ved "ingeniørplanten".



Figuren illustrerer, at traditionel forståelse af konkurrence mellem planter tilsiger, at jo mere genetisk ens, to planter er, jo mere vil de konkurrere om ressourcerne. Men denne forståelse er nu udfordret af opdagelsen af, at planter kan have evnen til at genkende deres søskende og reagere derpå med mindre konkurrence illustreret med den grønne pil.

Udover, at der sker en tilpasning til det lokale miljø, så kan der måske også være et fænomen kendt som "kin-selektion" på spil, når man taler om nabohjælp indenfor samme planteart. Det betegner en evolutionær strategi, hvor det ikke kun er ens egen "fitness", der er afgørende for succes, men også ens nærmeste slægtnings (dvs. søskende). Kin-selektion er

velkendt i dyreverdenen, hvor man især kender det fra sociale insekter som bier og myrer, men det er hidtil ikke noget, man har forestillet sig spillede den store rolle hos planter.

»Vi tror ikke, at kin-selektion hos planter er noget, de enten har eller ikke har – ligesom man ser det i dyreverdenen,« siger Bodil.

»I stedet finder vi en variation indenfor den enkelte planteart, hvor nogle genetiske varianter fra visse bestande faktisk reducerer deres konkurrence mod naboplanten, hvis det er en søskende, mens andre genetiske varianter ikke gør det.«

Spørgsmålet er så, om de planter, der reducerer konkurrencen mod deres nære slægtninge, gør dette som en evolutionær følge af kin-selektion, eller om det skyldes, at de har tilpasset sig det lokale sociale miljø og derfor vokser bedst med "deres egne". Det kan selvfølgelig også være en kombination, og det er noget af det, Bodil gerne vil afklare.

En af udfordringerne ved at afgøre dette spørgsmål er, at det er svært at estimere succesparametrene, som i evolutionær sprogbrug samlet går under betegnelsen fitness. Når man undersøger en organismes fitness er en vigtig parameter, hvor meget afkom, den får. Men når man taler om kin-selektion, er det ikke nok at se på det enkelte individs afkom og dette afkoms afkom. Her skal man også inddrage, hvor godt dens beslægtede naboer afkom klarer sig, hvis konkurrencen mod denne reduceres, og dette skal korrigeres med en faktor, der angiver graden af slægtskab (som i parentes bemærket ikke altid er nem at estimere).

Nabohjælp blandt afgrøder

At forstå planters nabohjælp bedre kan også have praktisk interesse.

»Indenfor agroøkologien er man vældig interesseret i at forstå, hvordan man kan få afgrøderne til at vokse sammen, så de konkurrerer så lidt som muligt med hinanden,« siger Bodil.

Men når forskerne har undersøgt de planter, man bruger som afgrøder på markerne, har de ikke kunnet påvise, at de praktiserede en sådan "søskendehjælp". Det kan dog skyldes, at denne egen-

skab simpelthen er selekteret ud af planterne i forædlingsarbejdet, mener Bodil.

»Traditionelt har man favoriseret, at afgrøderne individuelt satte mange frø. Men hvis det sker på bekostning af naboplanten, kan det i virkeligheden give et ringere udbytte samlet set, end hvis man favoriserer, at planterne er gode som en gruppe,« siger hun.

En strategi om at favorisere nabo-hjælp i forædlingsarbejdet kræver selvfølgelig, at denne egenskab faktisk findes hos planten. Så her må forskerne lede efter den hos afgrødernes vilde slægtninge i naturen, som ikke har været udsat for kunstig selektion. Det er en af grundene til, at Bodil og kolleger netop studerer sneglebælg, der er en slægtning til lucerne.

En ting er at forstå, hvordan planter indenfor samme art enten hjælper eller konkurrerer med deres "søskende", en anden ting er at forstå, hvordan en planteart kan hjælpe en anden art. Her undersøger forskerne, om man

Bodil Kirstine Ehlers

Bodil Kirstine Ehlers er seniorforsker ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet, hvorfra hun i 2000 også modtog sin ph.d. Bodil har blandt andet arbejdet 4,5 år på Center for Evolution og Funktionel Økologi ved det franske nationale forskningscenter (CNRS) i Montpellier og på Biologisk Institut ved Syddansk Universitet, inden hun i 2014 blev ansat på AU Bioscience. Bodil forsker i evolutionær økologi og forsøger at forstå, hvordan planter tilpasser sig deres abiotiske (klima) og biotiske (sociale) miljø.



Hun fokuserer især på den betydning, som variation i planternes kemi har for deres tilpasning til forskellige miljøer og for det omgivende samfund af både planter og dyr, samt om den viden kan anvendes til miljøvenlig, grønne løsninger i for eksempel dyrkningssystemer.

Bodil har modtaget støtte fra Danmarks Frie Forskningsfond, Natur og Univers til projekter om, hvordan planter genkender deres nabo via den kemi de udskiller, og om planter hjælper/konkurrerer mindre med hinanden som følge af kin selektion (sneglebælg) eller tilpasning til lokal kemi (timians naboer).

kan udnytte det, at planter som beskrevet kan låne beskyttende egenskaber fra deres aromatiske naboplanter ved at optage de

flygtige forbindelser, som disse udskiller. Det giver udtrykket "kemisk plantebeskyttelse" en hel ny dimension. ■

Videre læsning
Læs mere om evolution på www.evolution.dk



Bliv studerende for en dag

Som **Studerende for en dag** følger du undervisningen på den uddannelse, du er interesseret i. Du spiser frokost med den studerende, som viser dig rundt, og så bliver du klogere på, om uddannelsen er den rigtige for dig.

Besøg Kemi, Fysik, Matematik, Anvendt matematik, Datalogi, Biokemi og molekylær biologi, Biologi, Biomedicin, Farmaci eller Matematik-Økonomi på SDU i Odense.

Tilmeld dig på:
sdu.dk/nat/studerendeforendag

FRIVILLIGE & HUSDYR HJÆLPER NATUREN

Frivillige naturplejere i såkaldte kogræsserforeninger gør en stor indsats for at stoppe forringelsen af vores lysåbne naturtyper og dermed tilbagegangen af dyre- og plantearter, der er knyttet til disse levesteder. Forfatterne har set nærmere på de frivilliges indsats, og hvad der motiverer dem.

Foto: Colourbox

Forfatterne



Sari Frank Madsen er nyuddannet biolog, Københavns Universitet. sari.madsen@hotmail.com
Artiklen er en udløber af hendes specialeprojekt.



Niels Strange er professor ved Institut for Fødevarer og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet



Jesper Sølvér Schou er lektor ved Institut for Fødevarer og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet



Flemming Ekelund, lektor, Biologisk institut, Københavns Universitet

IDanmark prægede den lysåbne natur engang landet, hvor den fungerede som græsgrange for husdyr. Folk på over 50 kan huske, at enge, overdrev og heider, fyldt med blomster og svirrende insekter, var et helt almindeligt element i det åbne landskab. I dag er den lysåbne natur stærkt truet på grund af opdyrkning, fragmentering af landskabet, tilførsel af næringsstoffer og dræning. Insekterne er i voldsom tilbagegang, og med undtagelse af helt almindelige arter som Mælkebøtter og Tusindfryd er der ikke mange blomsterplanter i det åbne landskab. Således er cirka 20 % af de i alt 40.000-50.000 danske dyr, planter og svampe, der er knyttet til de lysåbne biotoper i dag, truede.

Dyr i naturplejen

De lysåbne naturtyper er omfattet af naturbeskyttelsesloven og er således formelt bedre beskyttet end for eksempel skov. Imidlertid kræver de lysåbne naturtyper pleje for ikke at gro til, men det er dyrt

og prioriteres ikke altid højt af de ansvarlige myndigheder.

Lysåbne biotoper kan vedligeholdes på forskellige måder, for eksempel gennem afbrænding eller ved høslæt/hugst, men ofte anses græsning for at være mest hensigtsmæssig. Græssende husdyr fjerner plantebiomasse mere gradvist end afbrænding og høslæt/hugst og spiller en stor rolle for opretholdel-

sen af artsrige levesteder, da det skaber varieret vegetationshøjde, dækningsgrad og artssammensætning i plantesamfundene. Dette er afgørende for tilstedeværelse af en lang række planter og dyr; især insekter og småfugle. Forskellige græssende dyr påvirker biotoperne forskelligt, hvorfor deres egnethed som naturplejere vil variere mellem forskellige habitattyper. Landbrugets husdyr har i mange år

Naturbeskyttelse ved hjælp af §3

Danmarks natur er beskyttet via Naturbeskyttelsesloven og Skovloven. De lysåbne naturtyper er særligt beskyttede gennem Naturbeskyttelseslovens §3, hvilket betyder, at der ikke må foretages ændringer i den naturlige tilstand af moser, enge, strandenge og overdrev. En ændring kan for eksempel være dræning, opdyrkning, gødsning eller sprøjtning. I Danmark er omkring 10 procent af landarealet omfattet af §3-beskyttelse. Al omfattet natur er beskyttet, uanset hvor den forekommer, både småbiotoper og områder i sammenhæng med andre naturtyper. Fredningen er dynamisk, dvs. at et område kan udvikle sig både ind og ud af en beskyttelse.

Det er kommunernes opgave at sørge for, at alle §3-beskyttelserne overholdes. Registrering af §3-beskyttede arealer udgør grundlaget for en hensigtsmæssig kommunal håndhævelse af beskyttelsesordningen.

De mest almindelige dyr i naturpleje: får (her gotlandske får), køer (her Galloway) og på foregående side: heste (konik-heste). De tre typer af dyr vil påvirke et område forskelligt.

Får græsser som reglen tæt på jorden, de foretrækker friske skud af blomsterplanter og spirer og æder sjældent højt græs. De kan også være effektive træ- og buskryddere.

Heste foretrækker græs og lader nogle latrinområder ugræssede.

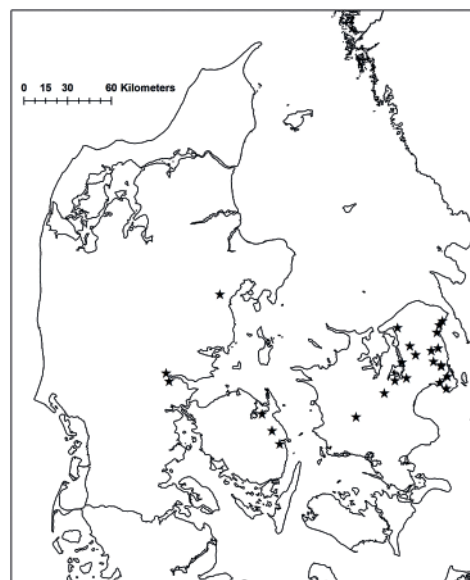
Køer foretrækker græs og går ikke specifikt efter skud og blomsterplanter, men de er ikke selektive ligesom fårene og græsser ikke tæt på jorden.



Foto: Shutterstock



Foto: Colourbox



Kogræsserforeningernes placering

spillet en vigtig rolle i udformningen og opretholdelsen af de lysåbne naturtyper og har sikret stabile bestande af planter, der er tilpasset græsning. I løbet af 1900-tallet mistede husdyrgræsning dog gradvist sin økonomiske betydning, da det moderne højeffektive, teknologiske landbrug blev indført.

Offentlig og frivillig naturpleje

På grund af de begrænsede ressourcer må den offentlige naturforvaltning prioritere og målrette sin plejeindsats. Ydermere har den voldsomme fragmentering af det åbne land medført, at mange biotoper i dag er små og isolerede og derfor vanskelige og omkostnings-tunge at inddrage i de kommunale og statslige plejeplaner. Her kan et samarbejde mellem professionelle og frivillige parter sikre en mere optimal indsats. Desuden vil en større inddragelse af frivillige, end det er tilfældet i dag, sikre et lokalforankret naturkendskab og ansvar og dermed en mere målrettet plejeindsats, end den offentlige naturfor-

valtning kan yde. Kogræsserforeningerne er et godt eksempel på et sådant samarbejde. En kogræsserforening er en sammenslutning af mennesker, der i sommerhalvåret (maj-september) lejer eller køber et antal dyr, oftest køer eller får, af en landmand. Dyrene afgræsser områder, der derved holdes lysåbne. Dyrene afgræsser områder, der derved holdes lysåbne. De fleste kogræsserforeninger er dannet efter år 2000 omkring større byer som København, Aarhus, Vejle og Roskilde. De plejer oftest mindre områder (omkring 8 ha i gennemsnit). Arealerne ejes ofte af kommuner og er typisk helt eller delvist beskyttet gennem naturbeskyttelseslovens §3.

Da frivillige foreninger som kogræsserforeninger således kan spille en vigtig rolle for mængden og kvaliteten af lysåben natur i Danmark, er det interessant at kigge nærmere på, hvad der motiverer de mennesker, der deltager i dette frivillige arbejde.

Socialt samvær er den primære motivation

I efteråret 2017 og sommeren 2018 besøgte vi 25 kogræsserforeninger, og i alt 347 medlemmer (53 % mænd og 47 % kvinder) deltog i en spørgeskemaundersøgelse, der skulle belyse, hvad der motiverer dem. Sideløbende analyserede vi flora og jordbundsforhold i de græssede områder.

Vores undersøgelse viste, at medlemmerne i kogræsserforeningerne på flere punkter adskiller sig fra andre frivillige, der deltager i organisationsarbejde i Danmark. Den typiske frivillige i kogræsserforeninger er over 50, gift, har ikke hjemmeboende børn, og er enten



Hvidkløver



Roset-Springklap



Alm. Røllike



Maj-Gøgeurt



Hulkravet Kodriver

Benyttede metoder i undersøgelsen

Naturstatusundersøgelserne havde til formål at lave en botanisk gennemgang af kogræsserforeningernes areal(er). Dette blev foretaget i en 5-meter cirkel, placeret der, hvor flest bidragende arter, kaldet stjernearter, forekom. Arterne fra cirklen blev tildelt talværdier, der blandt andet afhænger af, om de er naturligt hjemmehørende, og hvor kvælstoffølsomme de er. Desuden tog vi jordprøver i det øverste jordlag (0-5 cm) til undersøgelse af vandindhold, pH, totalt kulstof (C) og total kvælstof (N) i jorden og beregning af C/N-forhold.

Planterne på en eng eller et overdrev fortæller om områdets naturtilstand. Typisk vil man på sådanne områder ønske en tilstand, der ligner den, man havde før det industrielle landbrug.

Hvidkløver (*Trifolium repens*) er et eksempel på en art, der indikerer næringsstofpåvirkning. Sådanne arter tildeles værdien -1.

Roset-Springklap (*Cardamine hirsuta*) er et eksempel på en art, der normalt ikke forekommer i disse habitattyper, men ikke har betydning for vurderingen. Sådanne arter tildeles 0.

Almindelig Røllike (*Achillea millefolium*) er et eksempel på en art, der forekommer almindeligt i mange forskellige habitattyper og bidrager til at øge den biologiske diversitet. Sådanne arter tildeles en værdi på mellem 1 og 3.

Arter, der er følsomme overfor kulturpåvirkning som næringspåvirkning, afvanding, omlægning eller tilgroning tildeles værdier på 4 eller 5, hvis de vurderes som moderat følsomme, for eksempel Hulkravet Kodriver (*Primula veris*), og værdier på 6 eller 7, hvis de er meget følsomme som Maj-Gøgeurt (*Dactylorhiza majalis*). Man kan så ud fra disse værdier vurdere områdets tilstand.

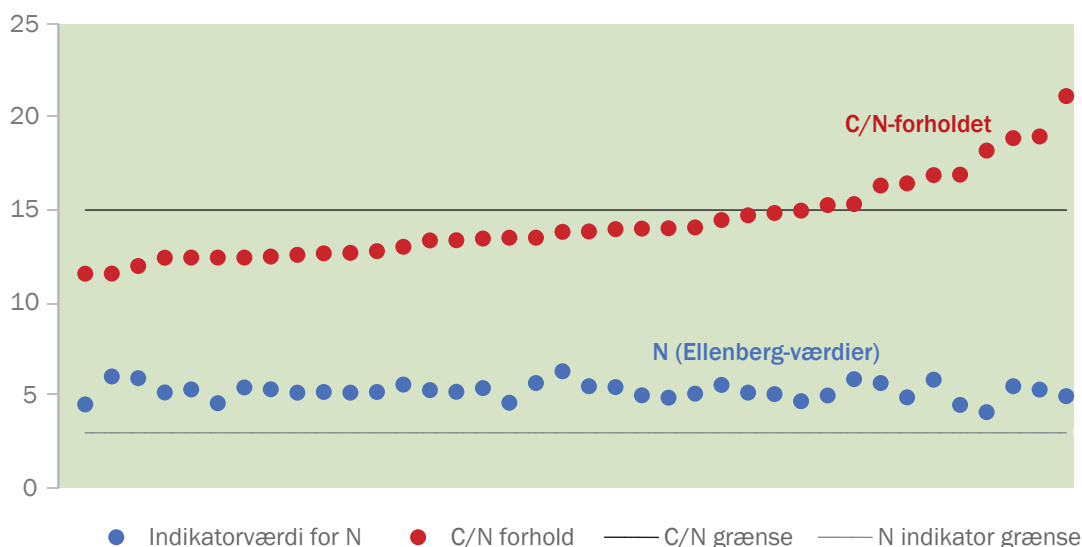
i arbejde eller er pensioneret. I sammenligning med frivillige i andre organisationer, er der mange pensionister og meget få unge og studerende, mindre end 2 % er under 20 år. Gennemsnitligt er 40 % af frivillige i organisationsarbejde på landsplan studerende mellem 16 og 19 år.

Umiddelbart skulle man tro, at frivillige inden for naturpleje primært er motiveret af interesse for natur og

biodiversitet. Det er dog ikke altid tilfældet. Vi fandt, at blandt de nøglefaktorer, der motiverer medlemmerne af kogræsserforeningerne, kom naturinteresse, dvs. bekymring over tabet af natur og biodiversitet og ønsket om at medvirke til naturbevarelse, kun ind på en andenplads. Den vigtigste motivationsfaktor var det sociale aspekt; dvs. at deltage i sociale aktiviteter og møde nye mennesker. Andre motivationsfaktorer var ønsket om at bidrage

til lokalsamfundet eller blot det at være en del af et frivilligt initiativ. At få kød fra de græssende dyr kom først ind på en femteplads.

Social motivation er generelt dominerende i studier af frivillighed. I Danmark er det den tredjestørste motivation blandt frivillige, kun overgået af ønsket om at gøre en forskel/hjælpe andre, og at den frivillige aktivitet er sjov. De frivillige i denne undersøgelse var meget



Forholdet mellem kulstof og kvælstof i jorden (C/N-forholdet, røde prikker) i de 38 undersøgte områder ordnet efter stigende værdi. Som tommelfingerregel indikerer et C/N-forhold på over 15 (sort linje) et så lavt kvælstofindhold, at det begunstiger de vilde planter, der har det svært i vores kvælstofpåvirkede åbne land.

De blå prikker viser næringsstof-indikatorværdier (Ellenberg-værdier) beregnet ud fra plantesammensætningen i områderne. I et naturområde i ligevægt ville de røde og blå prikker vise samme mønster. At dette ikke er tilfældet viser, at den botaniske udvikling halter bagefter udviklingen i jorden, og at områderne stadig er langt fra at ligne gamle græssede områder (indikeret ved den grå linje)

motiverede af at gøre en forskel for naturen, men at aktiviteten var sjov blev ikke vurderet som vigtig. Det tyder på, at der er forskel på frivillige inden for forskellige aktiviteter som naturbeskyttelse eller socialt arbejde. De frivillige naturplejere kan have mange forskellige motiver, og aktiviteten gavner ikke kun naturen, men kan også give de frivillige øget livskvalitet. Sidst er det bemærkelsesværdigt, at adgangen til kød er af ringe betydning for medlemmerne af de undersøgte foreninger.

Botanik og jordbundsforhold

Vi registrerede i alt 348 forskellige plantearter i de 25 foreninger. Mange af de fundne planter, for eksempel Fløjlsgæs (*Holcus lanatus*), Alm. Rajgræs (*Lolium perenne*) og Alm. Kvik (*Elytrigia repens*) er helt almindelige arter, der trives i vores kvælstofpåvirkede landskaber. Men vi fandt også arter, der indikerer åbne habitater, der er mindre kvælstofpåvirkede, og som normalt er karakteristiske for artsrige områder med større naturkvalitet; for eksempel Trævlekroene (*Lychnis flos-cuculi*), orkidéen Maj-Gøgeurt (*Dactylorhiza majalis*), Smalbladet Kæruld (*Eriophorum*

angustifolium) og Dunet Dueurt (*Epilobium parviflorum*).

Vores jordbundsanalyser viste, at mens jordens kvælstofindhold i nogle af områderne ikke var for højt til, at de kvælstoffølsomme planter kunne vokse der, så afspejlede dette sig ikke i plantevæksten. Det kan skyldes, at der tidligere var et højere kvælstofindhold i jorden, og at naturplejen har virket, men at plantesammensætningen endnu ikke er fulgt med; de planter, der er til stede nu, er tilpassede de gamle forhold. Det lover godt for fremtiden, hvor foreningerne kan forvente at opleve rigere naturområder.

Hvad kan vi tage med fra undersøgelsen?

Selvom motivationen hos de frivillige er forskellig, så bidrager de alle, i samarbejde med blandt andet kommuner og landmænd, til en mere varieret natur, da såvel offentligt som privatejede områder får en bedre naturpleje. Uden en tilpasset naturpleje ville tilgroningen af de lysåbne naturtyper være endnu større, end det er tilfældet. Samtidigt viser den biologiske undersøgelse af naturtilstanden på arealer,

som er blevet plejet af frivillige, at kvælstofindholdet stedvist er lavt på de undersøgte områder, og at den igangværende indsats bidrager positivt til restaurering af arealerne, selvom denne effekt ikke altid er slået igennem i plantesammensætningen. Der er stor sandsynlighed for, at områderne i fremtiden vil få en rigere natur i takt med, at foreningerne fortsætter deres indsats, og at naturområderne bliver mere næringsfattige og i højere grad præget af eng- og overdrevsarter.

Det er relativt nemt at omlægge et område til intensiv landbrugsdrift, men det kan tage mere end 50 år at genskabe den flora og fauna, der naturligt hører til i den lysåbne og næringsfattige natur og som førhen blev fremmet af husdyrgræsning.

En forstærket frivillig indsats i samarbejde med landets plejemyndigheder kan sikre en mere optimal indsats, der især vil gavne naturområder, der er svære og omkostningsfulde at pleje. Derfor er det vigtigt at forstå og stimulere motivationen hos de mennesker, der er parat til at yde en frivillig indsats for den danske natur. ■

Yderligere læsning
Buttenschøn, R.M. 2007. Græsning og høslæt i naturplejen. Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen og Center for Skov, Landskab og Planlægning, Københavns Universitet, Hørsholm. 250.

Hjære, M., Jørgensen, H.E.D. & Malthes Lindholm Sørensen M., L. 2018. Tal om frivillighed i Danmark. Frivilligrapport 2016 - 2018. Center for Frivilligt Socialt Arbejde.

Hasler, B. & Schou, J.S. 2004. Samfundsøkonomisk analyse af sikringen af naturvenlig drift på §3-arealer og naturskovarealer. Danmarks Miljøundersøgelser. 88 s. - Arbejdsrapport fra DMU nr. 197.

Hjortsø, C., N., Busck A., G. & Fabricius, M., K. 2006. Frivilligt Arbejde I Dansk Naturforvaltning. Center for Skov, Landskab og Planlægning, Københavns Universitet. By- og Landsplanserien nr. 28-2006.

Petersen, A., H., Strange, N., Anthon, S., Bjørner, T., B. and Rahbek, C. 2012. Bevarelse Af Biodiversiteten I Danmark. En Analyse Af Indsats Og Omkostninger. 102.

MANGE HENSYN I NY JORDFORDELING



Forfatterne



Knud Tybirk, biolog ph.d., er projektleder i Samsø Kommune (aukt@samsøe.dk) se <https://biosamfund.samsøe.dk/>.



Mette V. Odgaard er Post Doc på AU, Inst. for Agroøkologi med Jordbrugssystemer som speciale



Tommy Dalgaard er professor og sektionsleder for Jordbrugssystemer og Bæredygtighed samme sted

En ny fordeling af jorden i Danmark er en ny samfunds-kontrakt mellem by og land, og det er slet ikke så let i praksis. Vi præsenterer nogle af de tal og beregninger, der skal indgå i diskussionen med Samsø som eksempel.



Fotos: Knud Tybirk

Samsø er et landbrugsland – sådan har det været siden skovene blev ryddet for århundreder siden. For cirka 200 år siden var de danske skove næsten helt væk. Alt var ryddet til tømmer og brændsel, og kreaturer græssede overalt. I dag har Samsø et skovdække på kun knap 8 % (omtrent halvt så meget som Danmark som helhed) og godt 13 % natur (især overdrev og hede) uden for landbruget.

Landbrugslandet på Samsø dækker 66 %, som er en lidt større andel end resten af Danmark, men med

meget stor afgrødediversitet i form af mange grøntsager i det milde klima. Dertil cirka 13 % byer og veje, lidt til grusgrav og anden udnyttelse.

Alligevel kommer mange gæster til Samsø for naturen på trods af den enorme påvirkning i det kulturelle landskab. Nordby Bakker, Stavns Fjord og de 100 km kystlinje er storslåede naturoplevelser, og det bakkede landbrugsland, der varierer mellem små marker med mange hegn til åbne godslandskaber mod syd, er også en meget attraktiv kultur-natur-oplevelse. Landbrugslandet opfattes derfor af mange

som en vigtig del af landskabet på Samsø og som et sted, hvor kultur og natur mødes.

Men landbrugslandet er under hastig forandring. Små landbrug lægges sammen med større, og ofte ikke bare naboejendomme, men i nabobyen eller måske længere væk. Derved får landmanden længere til sine marker. Det giver meget transport, som generer andre på landet. På mange måder bliver det til et landskab, der ikke er særligt harmonisk ud fra landmandens synspunkt – og nok heller ikke fra naturens.



← Natur i Besser made kontra rødbede-
dyrkning. Hvad skal prioriteres i fremtiden?
Landmand, drikkevand, klima, natur – eller
måske det hele på en gang?

Danmarks Naturfredningsforening og Dansk Landbrug har foreslået en ny ambitiøs plan for jordfordeling i Danmark, hvor 100.000 hektar – primært lavbundsområder – skal tages ud af landbrugsdrift, mens den gode landbrugsjord fortsat skal drives.

Vi har i følgeforskning til projekt Biosamfund Samsø lavet en række kort, som kan være grundlaget for at diskutere, hvad vi vil med et landskab som det samske – med landmændene, naturinteresserede, turistforeningen, kommunen og med borgerne. Det viser en masse interessante dilemmaer, som der skal tages stilling til.

Landskabets servicefunktioner

Et landskab som det samske har mange funktioner eller services. Selvfølgelig at producere grøntsager, som de samske landmænd primært lever af at eksportere til byerne, samt foder til husdyr. Men landskabet og den tilhørende jordressource har også mange andre sekundære servicefunktioner. Der leveres: 1) klimatiske funktioner i form af binding af kulstof (CO₂), 2) plads til natur og oplevelser heri for landmænd, landbeboere og øens mange gæster, 3) plads til vindmøller og solceller, 4) rent grundvand etc. Denne mangearterede brug af landskabet kaldes multifunktionalitet, og jo flere interesser, der kan tilgodeses under forvaltning af et enkelt område, jo mere multifunktionelt er det.

Rumligt varierende faktorer som grundkort

For at gøre multifunktionaliteten i praksis konkret, har vi lavet en række grundkort af en række forskellige variable, der beskriver de fire hovedfunktioner. Der er for eksempel:

Landmandens økonomi

- Markens omkreds i forhold til størrelsen, der siger noget om, hvor lille eller hvor "bøvlet" marken er for landmanden at dyrke
- Kort med jordrente i 2011, der siger noget om jordens dyrkningsværdi
- Jordens indhold af ler (god dyrkningsjord med lav risiko for nedsivning til grundvand af for eksempel nitrat)

Grundvandsbeskyttelse

- Jordens indhold af grovsand (dårlig dyrkningsjord med stor risiko for nedsivning til grundvand af for eksempel nitrat)
- Kort med afstand til grundvandsboringer

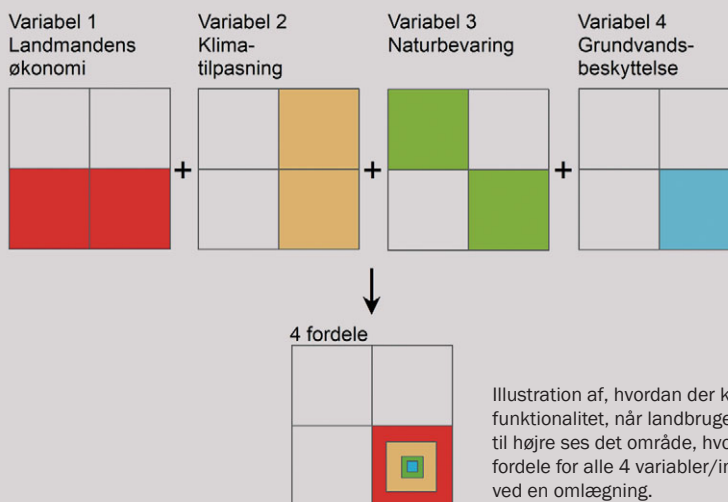
Klimatilpasning

- Jordens indhold af kulstof (tørvejord, som taber CO₂ til atmosfæren)
- Jordens Dexterindex, som siger noget om, hvor jorden potentielt kan "opsuge" mere CO₂ fra atmosfæren

Naturbevaring

- Kort med afstand til eksisterende natur og kysten
- Såkaldt High Nature Value (høj Naturværdi) kort

Fordele for landmand, klima, natur og drikkevand

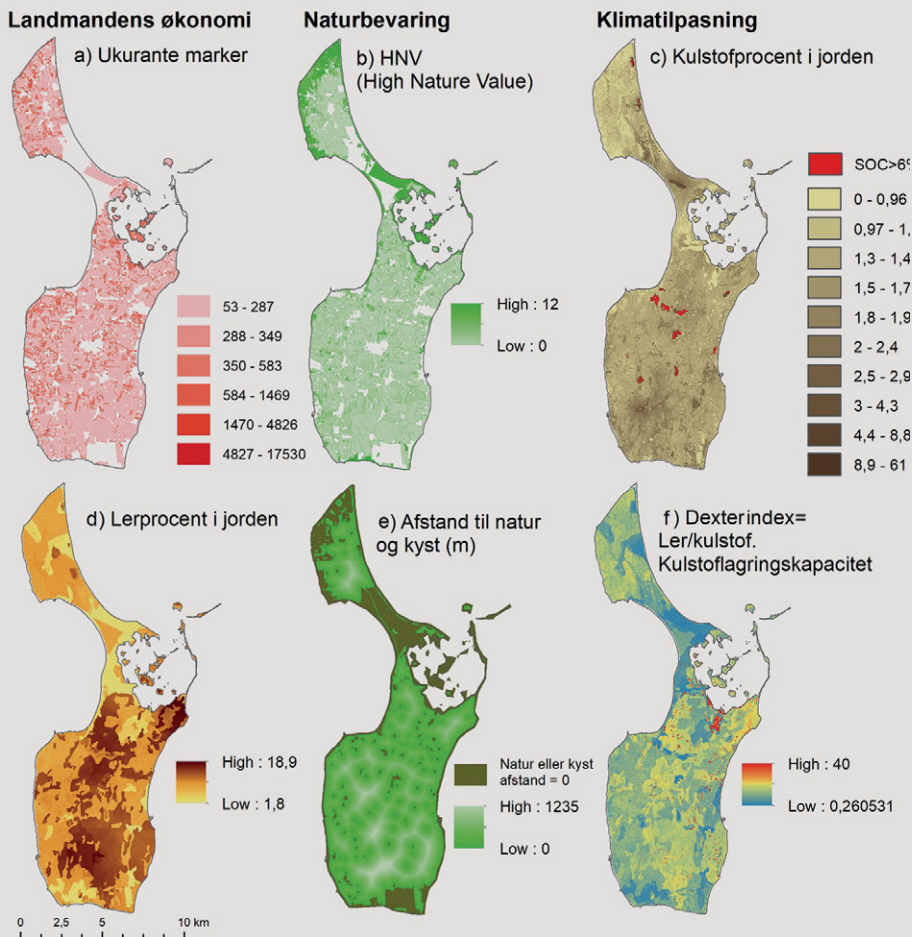


Multifunktionel jordfordeling er blevet et nyt buzzword de seneste par år og handler kort sagt om at kombinere og vægte flere funktioner i et landskab. Altså, hvis vi kan fordele landskabet, så både landmænd og andre interessenter bliver hørt, kan vi måske opnå en "bedre" fordeling af landskabet. På den måde får vi mest ud af den ellers meget trange plads. Kan det virkelig lade sig gøre at tilgode-se alle med en ny jordfordeling,

således at for eksempel landbrug, natur og endda et ønske om at øge klimatilpasning kan sameksistere?

Fire centrale services

Vi har "leget" med fire hovedfunktioner i det samske landskab på landbrugsjorden: Landmandens økonomi, klimatilpasning, naturbevaring og grundvandsbeskyttelse. Landbrugsjord er her defineret som marker, hvor landmanden får tilskud til driften, altså både



De rumligt varierende faktorer

Figuren viser 6 udvalgte eksempler på de rumligt varierende faktorer, vi har arbejdet med. *Landmandens økonomi* illustreres forsimplet ved små ukurante marker (røde områder på kort a) og lerprocent i jorden (dvs. gule områder har lav jordfertilitet på kort d).

Naturinteresser illustreres ved HNV (High Nature Value), hvor den gode natur findes (grønne områder på kort b), og e viser afstanden til eksisterende naturområder uden for markerne.

Klimatilpasningsinteresser illustreres ved kulstofprocent. f viser, hvor der findes mest kulstof i jorden (brune og røde områder), og kort c viser, hvor der er størst potentiale for at opbygge mere kulstof i jorden (røde områder), udtrykt ved det såkaldte Dexterindex, som er forholdet mellem ler og kulstof i jorden.

For at tilgodese landmandens økonomi, naturbevaring og klimatilpasning ligeligt bør en ny jordfordeling altså i princippet kunne målrettes til områder karakteriseret ved små ukurante marker, lav lerprocent, høj kulstofprocent og/eller høj Dexterindex.

omdriftsjord og permanent græs. Sidstnævnte kan samfundet ofte også opfatte som halvnatur, i hvert fald er der ofte langt højere naturværdi end på omdriftsarealerne.

Det kan hurtigt blive kompliceret

at medtage alle hovedfunktioner i en diskussion af prioriteringer, så her viser vi nogle korteksempler til illustration af kompleksiteten. Tanken er at vise, at hvis vi skal lave samfundskontrakten for dele af landbrugsjorden om (for ek-

sempel omlægge fra korn til græs, anlægge solceller etc.), skal vi tage hensyn til flere ting – og det bliver hurtigt kompliceret.

I alle tilfælde vil vi analysere, hvordan vi kan kombinere forskellige interesser med den forudsætning, at landmandens interesser altid tilgodeses. Det er jo landbrugsjorden, der fordeles og også denne jord, som landmanden skal leve af. På de producerede kort har vi derfor lagt landmandens interesser ind som små ukurante marker og lav lerprocent, og dette kombinerer vi så med andre samfundsmæssige interesser, for at få nogle bud på, hvor man med fordel kan lave ny jordfordeling og derved opnå multifunktionalitet af et landskab.

Det er tænkt sådan, at hvor der er små marker og lav lerprocent, har landmanden nok en interesse i at fordele jorden på en anden måde, fordi det er upraktisk og uøkonomisk at dyrke små, sandede marker med store maskiner. Endvidere udtrykker marker med lav lerprocent en lav jordfertilitet og vil derfor også være de marker, landmanden bedst kan undvære.

Tager vi i stedet klimabriller på og fokuserer på at omlægge små kantede marker med højt kulstofindhold bliver kortets potentielle områder for omlægning helt anderledes. Marker med højt kulstofindhold bør i fremtiden (jævnfør Klimarådets rapport) udelades fra drift, for at standse "afbrænding af jordens akkumulerede kulstof" under pløjning og dræning. Områder egnet til omlægning bliver så der, hvor jordens kulstofindhold er højt – typisk lavbundsområder.

Det komplicerede – og virkelige – billede

Hvis vi så lægger klimatilpasning og naturbevarelse sammen med landmandens interesser, kompliceres det yderligere. Hvad skal der vægtes højest i en "omfordeling" af landskabets serviceydelser?

Udvalgte arealer til omlægning

Udvalgte arealer, der kan være fornuftige at omlægge til ny drift under forskellige prioriterede, rumligt varierende parametre. Kortet viser de udvalgte områder på hele Samsøs landbrugsareal (grå og sort) og kun på kornarealer (grå), hvis der målrettes en eventuel jordfordeling efter ukurante marker og lav lerprocent – dvs. kun landmandens økonomi (a) og udvalgte områder, når der målrettes efter ukurante marker og natur udtrykt som høj HNV og lav afstand til natur – dvs. landmandens økonomi og naturbevaring kombineret (b).

Her har vi altså både analyseret for alle landbrugsarealer (inkl. græssede, som ofte også er med høj naturværdi), hvor der med fordel kan omlægges til bedre natur (sorte felter) og fokuseret særligt på kornmarker, hvor en omlægning kan have størst effekt på netop naturindhold (grå felter).

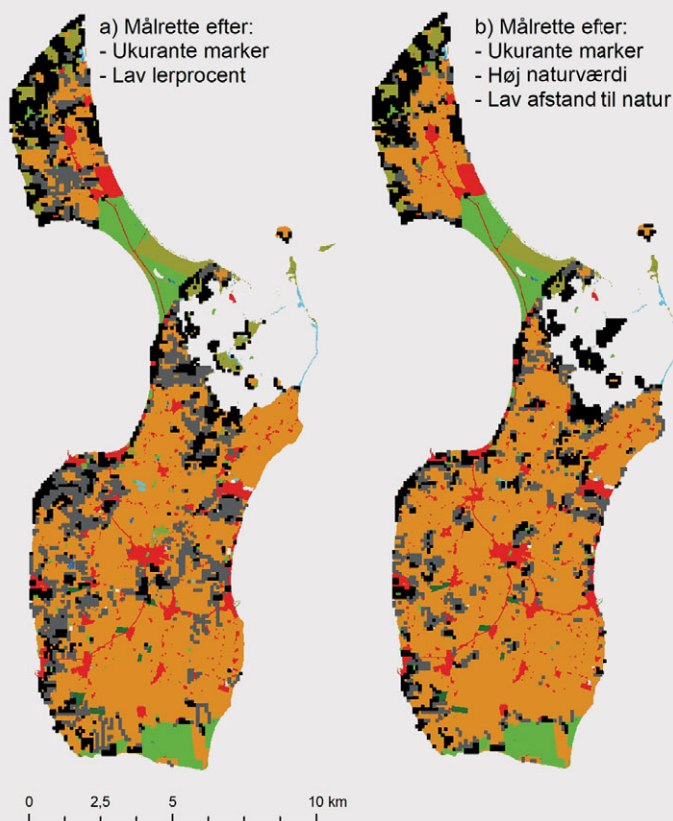
Vi ser, at områder i og tæt ved naturperlerne Nordby Bakker og Stavns Fjord har størst potentialer, samt nogle andre områder på Sydøen – ofte tæt ved kysterne. Her får vi mest natur ved at omlægge tæt ved naturområder, da en omlægning af landbrug tæt på natur kan hjælpe til at styrke allerede eksisterende natur.

Målrettet efter økonomi og klimatilpasning

Udvalgte arealer passende til at omlægge til ny drift under forskellige prioriterede rumligt varierende faktorer, hvor der målrettes efter landmandens økonomi og klimatilpasning kombineret. Kortet viser de udvalgte områder på hele landbrugsarealet (grå og sort) og kun på kornarealer (grå), hvis der målrettes efter ukurante marker og høj kulstofprocent (a). Her ligger de potentielt velegnede områder spredt i landskabet.

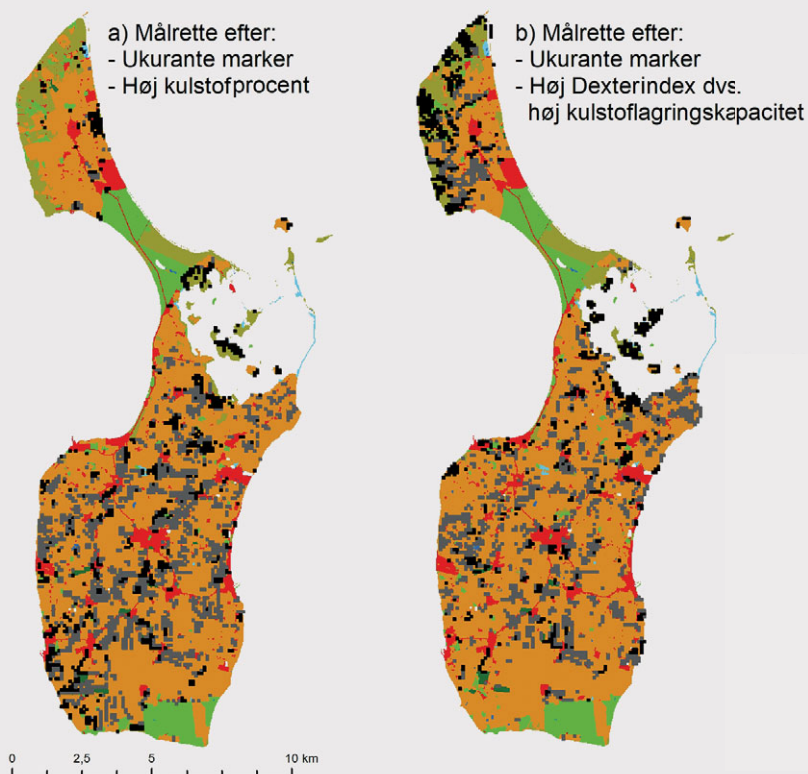
I b har vi kombineret små ukurante marker og områder, hvor potentialet for kulstofbinding er størst (ler/kulstof-ratio er høj). Her er billedet også lidt spredt, dog med potentialer for omlægning i de græssede Nordby bakker og Besser Made syd for Stavns Fjord.

Så selv med en tilsyneladende enkel klimaparameter – ud over landmandens interesse med små ukurante marker – bliver billedet hurtigt mere kompliceret afhængig af datagrundlaget og formålet. Skal vi omlægge jord, der i øjeblikket sender meget CO₂ til atmosfæren – eller skal vi fokusere på ændringer, hvor ændret anvendelse kan opbygge mere kulstof?



Arealanvendelse

■ Urban	■ Græs
■ Permanent vådområde	■ Periodisk vådområde
■ Skov	■ Egnede områder til en ændring
■ Juletræer	■ Egnede områder til en ændring (korn)
■ Landbrug	



Forslag til yderligere læsning:

Dexter, A.R. et al, 2008
Complexed organic matter controls soil physical properties. *Geoderma* 144 (2008) 620–627

Klimarådets 2020. Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion. Retning og tiltag for de næste ti års klimaindsats i Danmark

Odggaard, M.V., Dalgaard, T. & Pedersen, B.F. 2020. Multifunktionelle scenarier for Samsø. Teknisk rapport til følgeforskning til Biosamfund Samsø. Aarhus Universitet.

Klimaet, naturen eller landmanden? Landmanden skal være med frivilligt for at øge sandsynligheden for, at eventuelle tiltag vil blive opretholdt trods manglende støtte og derved have den bedste langtidseffekt. Endvidere skal han/hun kompenseres for driftstab, og til disse overvejelser har vi endnu ikke lagt grundvandsbeskyttelse som endnu en vinkel, der kan inddrages.

Man kan se Samsøs arealanvendelse som 100 % "udnyttelse" enten til natur, landbrug, grusgrav, byer, vej osv. Men i realiteten har de fleste kvadratmeter på øen flere funktioner. Det kan være produktion af foder eller fødevarer, hvor der også er en vis mængde robust natur på marken (regnorme, edderkopper, biller osv.) og eksempelvis grundvandsdannelse nedenunder. Så der er oftest flere servicefunktioner, selvom vi forsøger at skille det ad i de viste kort.

En radikal omlægning af landskabet kan fokusere på at opfylde

så mange funktioner på samme areal som muligt. Det kan være i form af skovlandbrug med flere services som klimagasbinding (i jord og træer), øget biodiversitet og husdyrproduktion, hvor flere dyr kan gå sammen (for eksempel æglæggende høns, poppelgrise eller skovgræsning med kreaturer). Det giver muligvis udfordringer med nitrat til grundvand – og kan endvidere blive udfordret af mindre rationalitet, og dermed enten en højere pris hos forbrugeren eller mindre indtjening til landmanden. Så der er mange dilemmaer at tage stilling til.

Et andet landbrugssystem på Samsø kunne være de ansøgte solcellemarker på kløvergræs, hvor der samtidig kan gå økologiske får. Herved produceres energi, kød, biodiversitet, samt renere grundvand. Sådanne marker samt skovlandbruget kunne erstatte allerede eksisterende konventionelle kornmarker. Mange funktioner, flere dilemmaer – og måske naboudfordringer.

Multifunktionel jordfordeling på Samsø

På Samsø er arbejdet hen imod at lave en såkaldt multifunktionel jordfordeling allerede sat i gang. Vi er startet med lodsejerens interesse, som falder sammen med naturinteresser og kulstofbindings-potentiale i Besser Made i den sydlige del af Stavns Fjord.

Vi håber, vi får mulighed for at skaffe midler til det, og vil over de næste år gå dybt i denne diskussion med alle interessenter omkring Besser Made.

Denne lille artikel viser nogle af de dilemmaer, vi skal diskutere. Vi vil lave en ny samfundskontrakt, hvor det både bliver lettere at drive landbrug (færre konflikter, bedre arrondering, dvs. at samle jordtilliggende omkring en ejendom), der bliver plads til mere og bedre natur, vi kan binde mere kulstof i jorden og måske samtidig mindske udledning af N og P. Det bliver ikke let – men en særdeles spændende proces de nærmeste år. ■



sdu.dk/ing #sduing

Kom til Girls' Day in Science på Ingeniøruddannelserne på SDU d. 30. september 2020

Tag dine gymnasiepigler med til en anderledes skoledag i ingeniørernes verden.

Gennem workshops og oplæg får I en forsmag på, hvad ingeniører beskæftiger sig med, og hvad en ingeniøruddannelse handler om. I vil møde nogle af vores seje rollemodeller, blive vist rundt i vores laboratorier og studiemiljø og få en sjov, faglig dag i godt selskab. Vælg mellem 3 forskellige workshops. Niveauet tilpasses efter deltagerne, så alle fra 1 - 3 årgang er velkomne. Vi sørger for forplejning gennem dagen.

På www.sdu.dk/tek/undervisningstilbud kan du tilmelde et hold og booke et fagligt besøg til resten af klassen hjemme på skolen.

BØGER

FAKTA

Theiss Bendixen:
Skeptisk. FADL's
forlag 2020. 280
sider, 299,95 kr.



Skeptisk

Ifølge denne bogs underrubrik er den en hyldest til videnskaben og et opgør med pseudovidenskaben. I bogen viser Theiss Bendixen, hvordan videnskaben i dag er vigtigere end nogensinde før – for både individ og samfund. Ved hjælp af aktuelle og historiske eksempler understreger Bendixen, hvilke svagheder og styrker videnskaben har samt, hvorfor og hvordan den fungerer.

FAKTA

Carlo Rovelli:
Tidens orden.
Gyldendal
2020. 226 sider,
249,95 kr.



Tidens orden

Tidens orden af den italienske fysiker og forfatter Carlo Rovelli handler om et element af fysikkens verden, der står som et af de sidste store mysterier, og som er utroligt vedkommende for alle, selvom man måske ikke tænker over det, nemlig tidens mysterium.

FAKTA

Jens Ringgaard Christiansen og Kasper Møller Nielsen:
100 myter om vejr og klima. FADL's forlag 2010. 264 sider, 229,95 kr.

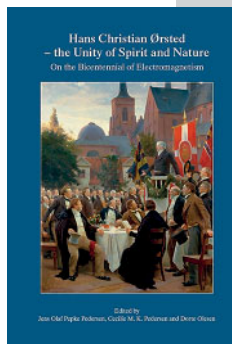


100 myter om vejr og klima

Findes der to nøjagtig ens snefug eller ej? Kan gigtpatienter virkelig mærke, at et omskift i vejret er på vej? Er det solpletter, der er hovedårsagen til klimaforandringerne, eller er Antarktis faktisk ved at blive større? Og er der noget om de gamle vejrvarsler, såsom at bred sne varsler tø? Bogen kigger på 100 myter om vejr og klima og dømmer, om de kan anses for sande eller falske.

FAKTA

Jens Olaf Pepke Pedersen, Cecilie M.K. Pedersen & Dorte Olesen (red): *Hans Christian Ørsted – the unity of spirit and Nature.* Kvants forlag 2020. 152 sider, 179 kr. Kan bestilles online på www.polyteknisk.dk/hco2020.



Ørsted til et internationalt publikum

Den nye bog *Hans Christian Ørsted – the unity of spirit and Nature* bygger primært på dansk-sprogede tidligere bragt i tidsskriftet *Kvant* og er udgivet i anledningen af 200-året for Ørsted opdagelse af elektromagnetismen. Samlet behandler artiklerne en lang række aspekter af Ørstedes videnskabelige virke og bidrag til den danske kultur. Bogen var blandt andet tiltænkt internationale turister, der forventedes at besøge den planlagte Ørstedudstilling i biblioteksloftet i Rundetårn i perioden juli til september i år, men på grund af corona-pandemien bliver det formentlig nu mest et dansk publikum, der får glæde af udstillingen.



LÆS GEOGRAFI

Kan vi leve sammen med naturen? Og kan naturen leve med os? Geografi er med til at kortlægge, konkretisere og løse de problemstillinger, vi har i forhold til fx klimaforandringer, globalisering og anvendelse af naturressourcer.

TAG EN GEOGRAFIUDDANNELSE - LÆS MERE PÅ [GEO.AAU.DK](https://geo.aau.dk)

[GEO.AAU.DK](https://geo.aau.dk)



AALBORG UNIVERSITET



Nye undervisningsmaterialer

For dig, der underviser, er der inspiration at hente på hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

QUIZ

Prøv den nye quiz om plantekonkurrence. Den bygger på artiklen *Nabohjælp i planteverdenen* i dette nummer.

Aktuelviden.dk/plantekonkurrence

Synergi med foredrag

Aktuel Naturvidenskab skal i de kommende 3 år samarbejde med Offentlige foredrag i Naturvidenskab om at lave artikler, der bygger på disse foredrag, der livestreames til lokationer over hele landet.

Artiklerne vil endvidere blive koblet med materiale, der giver et læringsmæssigt perspektiv på artiklerne og foredragene, så det bliver en superrelevant formidlingspakke at inddrage som et supplement til lærebøgerne i undervisningen. Dette undervisningsmateriale vil blive

lavet i samarbejde med Viborg Gymnasium og Viborg Katedralskole.

Artiklen *Fremtidens biodiversitet* i nr. 2/2020 demonstrerer ideen i dette projekt, idet denne artikel var knyttet til professor Jens Christian Svennings foredrag i Offentlige foredrag i Naturvidenskab i marts måned. Artiklen indgår som del af et undervisningsmateriale om biodiversitet, som du kan finde på Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside.

Projektet er blevet muligt takket være en bevilling fra Novo Nordisk Fonden.

Læs mere om Offentlige foredrag i Naturvidenskab på ofn.dk

Læs mere om projektet i næste nummer

ABONNEMENTS-SERVICE

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

Kontakt os på telefon: 87 15 20 94
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**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Jens D. Holbech**, chefkonsulent, Science and Technology, Aarhus Universitet
- **Mette Christina Møller Andersen**, specialkonsulent, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Sanne Holm Nielsen**, kommunikationsmedarbejder, Aalborg Universitet
- **Søren Rud Keiding**, direktør for AIAS (Aarhus Institute of Advanced Studies), 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: 5.700



Redaktionsgruppe

- **Birgitte Dalgaard**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Carsten Rabæk Kjaer**, Aktuel Naturvidenskab
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Sanne Holm Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Signe Hansen**, Viborg Gymnasium og HF
- **Katherina Killander**, Københavns Universitet
- **Torben Jarl Jørgensen**, Roskilde Universitet

Redaktionen:

Tlf.: 87 15 20 94

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Facebook.com/aktuelnaturvidenskab

Postadresse: Aktuel Naturvidenskab,

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

Omslagsfoto:

Mikroskopibillede af et sediment med aktive kabelbakterier. Foto: Steffen Larsen og Lars Riis Damgaard.

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

Nu skal plasten genanvendes!

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Når vi som borgere pligtskyldigt sorterer vores plastaffald, er det med en forventning om, at al den herlige plast bliver genanvendt. Men det er kun en lille del, der reelt ender med at genopstå som nye, brugbare plastprodukter. Det skyldes blandt andet, at der findes mange typer af plast, og ikke alle typer er lige genanvendelige. Også for virksomheder, der har ambitioner om en mere bæredygtig produktion, kan det være en udfordring at genanvende plast – selv fra deres egne plastprodukter. Og det er der ifølge professor ved Aalborg Universitet Jesper de Claville Christiansen rent tekniske grunde til:

»Den største forhindring for at genanvende plast i dag er, at der ikke findes modeller og test, der præcist beskriver egenskaber og kvalitet af genbrugsplasten,« siger han. »Og hvis man ikke kan garantere plastens kvalitet, tør man ikke bruge den i sine produkter. Men det er en skam, for mange virksomheder kunne sagtens genbruge store mængder plast.«

I samarbejde med virksomhederne Grundfos, Aage Vestergaard Larsen A/S, Logstor og Plastix vil Jesper og kolleger ved Aalborg Universitet nu gøre noget ved sagen. De har modtaget 14 millioner kr. fra Innovationsfonden til et projekt, der skal udvikle en metode, hvor man med få udvalgte test hurtigt kan vurdere, om plastmaterialet lever op til den nødvendige standard.

Usikkerhed om egenskaber

Genanvendelse af plast kan foregå på flere måder. I sin mest simple form kan en virksomhed tage gamle plastprodukter retur og bruge dem igen, for eksempel plastflasker der renses og genbruges.

»Men typisk kværner man den gamle plast til et granulat, der bruges som råstof til at støbe nye plastelementer. Hvis produktet er et mindre kritisk element, kan det laves 100 % af genanvendt plast, men normalt blandes granulatet sammen med ny plast i et forhold op til 20 %. I nogle tilfælde modi-



Jesper de Claville Christiansen i gang med en termisk undersøgelse af et plastmateriale. Foto: AAU

ficerer man granulatet med farve eller stoffer, der forbedrer egenskaberne,« forklarer Jesper.

I alle tilfælde introducerer den genanvendte plast et element af usikkerhed i forhold til egenskaberne af de nye plastprodukter, den genanvendte plast indgår i.

»Plast er et organisk materiale, der består af lange molekyler. Når man udsætter plast for sollys, høj temperatur, vand eller kemikalier kan disse lange kæder nedbrydes. Tiden er også i sig selv en faktor, for plasten indeholder også beskyttende stoffer, som kan blive forbrugt. Når materialet ældes på denne måde, ændres egenskaberne. Og så står man med et nyt ukendt materiale,« siger Jesper.

Alt plast bør genbruges

De metoder og modeller, man i dag bruger til at forudsige egenskaberne af plast, kræver typisk lang tid til test af, hvordan plasten klarer fx slag, høj temperatur eller et bestemt kemisk miljø.

»Det kan for en virksomhed gå an at lave disse test, hvis man har med store mængder plast af ens kvalitet at gøre, som er på virksomhedens produktprogram i mange år. Men for genbrugsplast, hvor hver sæk i princippet er ukendt, kan man ikke lave samme

langtidstest, da de er rasende dyre. Derfor er det vigtigt at udvikle bedre metoder,« siger Jesper.

Nu skal Jesper sammen med sine kolleger på Aalborg Universitet og i virksomhederne i gang med at teste plast i laboratoriet for at finde ud af, hvilke test der bedst, hurtigst og billigst forudsiger egenskaber som brud- og slidstyrke samt ikke mindst levetid af den genanvendte plast.

»I første omgang er målet, at virksomhederne får et grundlag, så de kan benytte genanvendt materiale i deres produkter og være sikre på, de ikke fejler i levetiden,« siger Jesper. »Men min langsigtede drøm er, at vi genbruger alt plast. Og når plasten til slut bliver af ringe kvalitet, skal den anvendes som råvare til helt nyt plast. Derved undgår vi at bruge olie til ny plast eller værdifuld natur til bioplast.« ■