

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL *natur* VIDENSKAB

DØDELIGE PANDEMIER

– COVID-19 er hverken
den første eller den sidste

Pas på skovflåterne
Planters hemmelige liv i skyggen af andre
Mikrober har magt til at gøre dig syg
– og holde dig rask

NR.3 - 2021 JULI: 50 KR.

Quiz

Hvad er en transkriptionsfaktor?

1. En fri aminosyre før den indbygges i et protein
2. Et udtryk for, hvor stor en andel af den samlede arvemasse i en organisme der oversættes til protein
3. Et protein, der binder sig til et specifikt gen og regulerer, hvor meget det kommer til udtryk

Find svaret i artiklen *Planters hemmelige liv i skyggen af andre* side 24.

Foto: Lars Svankjær



Videnskab i børnehøjde

Videnskabsklubben har af et par omgange her i foråret 2021 inviteret familier med børn i alderen 9-13 år til at fordybe sig i et naturvidenskabeligt emne. Her prøver deltagerne at være forskere og arbejde med fantastiske, sjove eksperimenter og øvelser, som er udarbejdet af forskere og professionelle videnskabsformidlere. Arrangementerne foregår på Kulturhuset Islands Brygge i København og på Dokk1 i Aarhus og næste runde er henholdsvis 14. august og 11. september. De kommende år bliver konceptet udrulet til resten af landet. Læs mere på videnskabsklubben.dk

Mulighed for ny antibiotika

Polyæter ionoforer. Har du ikke hørt om dem før? Så er du næppe alene! Men det er en gruppe af naturligt forekommende molekyler, der har det til fælles, at de kan transportere positivt ladede ioner gennem cellemembraner. Professor Thomas B. Poulsen og kolleger fra Aarhus Universitet har nu fundet en metode til at lave kunstige udgaver af disse molekyler, som virker lovende som ny antibiotika. De syntetiske molekyler er 3 og 10 gange mere antibiotiske end de stærkeste af de naturlige stoffer fra samme gruppe af kemiske forbindelser. Det betyder, at de 3 til 10 gange mere selektivt slår bakterier ihjel end menneskeceller.

Kilde: Carlsbergfondet



Rynket rose er i Danmark en succesfuld invasiv plante. Foto: Colourbox

Koden til succes som invasiv plante

Ved hjælp af en gigantisk database på over en million stikprøver af europæisk vegetation, har et internationalt forskerhold med deltagelse af blandt andet lektor Hans Henrik Bruun fra Københavns Universitet forsøgt at belyse, hvilke plantearter der bliver invasive. Studiet viser blandt andet, at et fællestræk for succesfulde invasive planter er, at de er hurtigtvoksende og næringskrævende.

Kilde: KU/PNAS

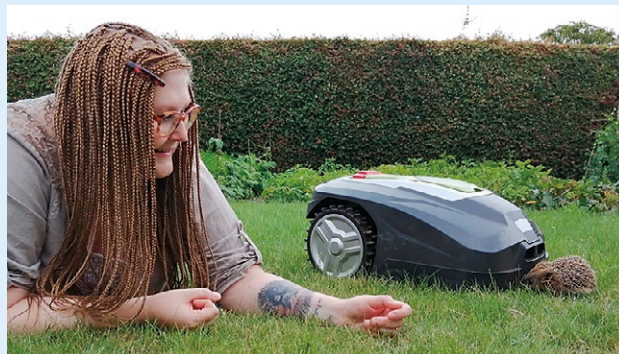


Foto: T. Pank

Pindsvin vs robotplæneklippere

En test med 18 forskellige modeller af robotplæneklippere har vist, at der er stor forskel på, hvor farlige de forskellige modeller er for pindsvin. Det fremgår i et nyligt publiceret studium af pindsvineforsker Sophie Lund Rasmussen fra Aalborg Universitet og kolleger. Undersøgelsen viste blandt andet, at tekniske detaljer som fleksible knive, der folder sig væk når de rammer noget, der er hårdere end græs, glide-plader, der beskytter knivene, når de rammer noget hårdt, samt forhjulstræk er med til at øge sikkerheden for pindsvin.

Animals 2021, 11(5), 1191



Foto: Lars Holst Hansen

På virtuel rejse i Arktis

Et nyt 3-årigt projekt har som mål at lave en online læringsplatform, hvor elever virtuelt kan bevæge sig rundt i naturen i Grønland, finde data og se film fra felten. Eleverne kan også lave deres egne undersøgelser lokalt og sammenholde resultaterne med eksisterende data fra Greenland Ecosystem Monitoring (GEM) programmet. GEM har i 25 år har overvåget effekter af klimaforandringer på økosystemerne i Grønland og er dermed en unik kilde til viden og læring. Projektet er støttet af Novo Nordisk Fonden og udarbejdes i et samarbejde mellem Aarhus Universitet, Grønlands Naturinstitut og Frederiksborg Gymnasium og HF. Se <https://g-e-m.dk>

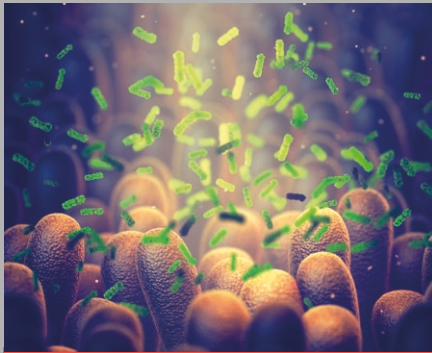
Vindenergi-pris til Aalborg-forsker

Professor Frede Blaabjerg fra Aalborg Universitet har for nylig vundet den internationale pris, EAWES Scientific Award, som hvert år uddeles til en forsker med stor betydning for vindenergiesektoren. Frede Blaabjerg vinder hædersprisen fordi, han med sin forskning i effektelektronik blandt andet har skabt grundlag for, at sol- og vindenergi i dag er et realistisk alternativ til kul og olie.

Kilde: Aalborg Universitet



indhold



Enhver ved, at mikrober i form af bakterier, arkæer, virus og svampe kan være farlige og gøre os syge. Men deres vigtigste rolle er faktisk, at de hjælper os med at holde os sunde og raske. Derfor skal vi passe på de mange sundhedsfremmende mikrober, som lever i og på os.

18



Skovflåten er i stand til at overføre mange forskellige sygdomsfremkaldende organismer til mennesket. Selvom sandsynligheden for at blive smittet faktisk ikke er så stor, holder forskerne et vågent øje med flåterne og de sygdomme, de spreder.

8

FORSKNING OG NYHEDER

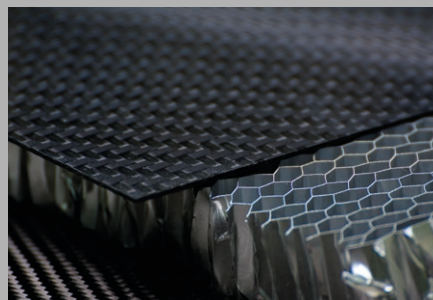
- 4 KORT NYT
- 8 Pas på skovflåterne
- 12 Dødelige pandemier – COVID-19 er hverken den første eller den sidste
- 18 Mikrober har magt til at gøre dig syg – og holde dig rask
- 24 Planters hemmelige liv i skyggen af andre
- 30 Strandenge – en overset klimabuffer
- 36 Rovinsekter på plantekost
- 39 En sandwich i rummet
- 43 SERVICE
- 44 BAGSIDEN: Digitale skrankepaver

Forholdsregler mod Udbredelse af Influenza

1. Tagttag den størst mulige Renlighed.
2. Hold Haanden for Munden, naar De hoster eller nyser.
3. Pas paa, at ingen hoster, nyser eller taler ind i Ansigtet paa Dem.
4. Hold Telefontragten ren, særlig hvor den bruges af mange.
5. Sørg for god Udluftning af Værelserne.

I 1918 blev verden ramt af den hidtil mest dødelige pandemi i moderne tider, og i disse år hærger endnu en global dræber. Forskere som Lone Simonsen er i et kapløb med tiden for at forstå, hvordan vi kan lære af fortidens pandemier for bedre at forstå nutidens modstykker.

12



Små satellitter udvikles i dag på baggrund af krav, der er opstillet for mere end 20 år siden. Ved at udnytte en smart sandwich af kulfiber og plastik, er det muligt at halvere vægten på en satellitstruktur.

39

AKTUEL NATURVIDENSKAB

Udgiver

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

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

Ansvarshavende

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

Redaktion

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

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



AALBORG UNIVERSITET



AARHUS
UNIVERSITET



KØBENHAVNS
UNIVERSITET



DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



DET TEKNISKE
FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-
ABONNENTER



Lyde fra flintesten afslører mulig stenalderboplads

Dybt under havets bund, ud for Svanemøllen Havn i København, ligger en flere tusinde år gammel stenalderboplads sandsynligvis begravet.

Sådan lyder tesen i et nyt studie af blandt andre to danske forskere, der ved hjælp af en ny geofysisk metode har opfanget nogle lydsignaler, som stammer fra bearbejdede stykker af flintesten – et materiale, der er blevet anvendt flittigt til våben og redskaber af stenaldersfolk for omkring 4.000 år siden.



Grafik af området med lydsignaler, der peger på, at der findes en begravet stenalderboplads ud for Svanemøllen Havn. Grafik: Ole Grøn.

»Flintesten, der er bearbejdet, dvs. hugget til, er næsten altid ensbetydende med, at der er en stenalderboplads i nærheden,« fortæller Lars Ole Boldreel, der er lektor på Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning på Københavns Universitet og en af forskerne bag opdagelsen.

Sammen med Ole Grøn, der er arkæolog og

gæsteforsker på KU samt forskere fra eksempelvis USA, Sverige og Schweiz, har han testet teorien ved at lægge store mængder af både bearbejdet og ubearbejdet flint ud i havet ved blandt andet Amager Strandpark.

»Vores seismiske måleinstrument gav kun signal i form af de specielle lydfænomener, når vi sejlede over den bearbejdede flint. Det

gør os 90 procent sikre på, at der i Svanemøllen Havn ligger en stenalderboplads netop i dét område, hvor vi får signal. Dog mangler vi der den "rygende pistol", nemlig at finde stykker af bearbejdet flint, som vi kun kan få ved at tage boreprøver op. Så det håber vi meget på, kan lade sig gøre,« lyder det fra Lars Ole Boldreel.

Han uddyber, at kolleger i Florida har opfanget lignende lydsignaler, hvor dykkere har bekræftet, at der er tale om bearbejdet flintesten brugt til pilespidser og andre redskaber.

Forskernes målinger af lydsignalet tyder på, at stenalderbopladsen strækker sig over et stort område på 80 gange 120 meter, cirka 7,5 til 9 meter under havoverfladen ud for Svanemøllen Havn.

Ida Eriksen, KU. Videnskabelig artikel: *Remote Sens.* 2021, 13(3), 445.

Onlinemøder er en ulempe for kvindestemmer

Brugen af videomøder er eksploderet under coronakrisen. Skoleelever, undervisere og stort set alle virksomheder bruger enten Zoom, Teams eller Skype. Det er nemt, effektivt og gnidningsfrit, men en undersøgelse udarbejdet af Syddansk Universitet og Universitæt Magdeburg viser, at det er en ulempe for kvinder, da deres stemmer kan opfattes mindre udtrykksfulde, kompetente og karismatiske end mænds stemmer.

Det skyldes, at på trods af den enorme datamængde, der overføres i forbindelse med et videomøde, så er der tale om komprimeret lyd, som ikke formår at transmittre alle frekvenser og detaljer i det talende sprog. Og det rammer altså i højere grad kvinder end mænd, viser undersøgelsen.

Bag undersøgelsen står lektor ved Center for Industriel Elektronik ved SDU i Sønder-



Mænd har en stemmefordel ved videomøder. Foto: Colourbox

borg, Oliver Niebuhr, og adjunkt Ingo Siegert fra Universitæt Magdeburg. De to forskere spurgte testlyttere om deres indtryk af optagede stemmer. Professionelle højttalere gav lydeksempler, der skulle klassificeres på en skala fra en til ti.

»Du kan sammenligne det med smørrebrød.

Når du komprimerer lyd, så fjerner du noget. Hvis vi tager "Dyrlægens natmad", så forsvinder der i mændenes tilfælde måske lidt sky, fordi deres stemmeleje ligger i et bestemt frekvensområde. Fordi kvinders stemmer ligger på en anden frekvens, så forsvinder der mere; måske smør, saltkød, sky og løgringe, så der til sidst kun er en leverpostejsmad tilbage,« siger Oliver Niebuhr.

Oliver Niebuhr fortæller, at udviklerne af videomødeprogrammer har fokuseret på, i hvor høj grad brugerne har kunnet forstå ordene, som bliver sagt. Altså, hvor klart og tydeligt ordene transmitteres.

»Ikke alle codecs får kvinder til at fremstå mindre karismatiske, men i fremtiden bør der være mere fokus på de detaljer, som er essentielle i vores kommunikation. De små nuancer.«

Sune Holst, SDU

Havets historie skal skrives om

Urhavet – eller i hvert fald dele af det – kan have mindet mere om nutidens have end hidtil troet. Det viser nyt studie fra Syddansk Universitet, der også konkluderer, at ligheden opstod allerede for 1400 millioner år siden – 600 millioner år tidligere end hidtil antaget.

»Det betyder, at i hvert fald nogle marine økosystemer dengang fungerede på en måde, der kan sammenlignes med nutidens, og så må vi skrive havets historie om,« siger Don E. Canfield, professor og forskningsleder med speciale i havets kemi og dens rolle for livets udvikling på Jorden.

Sammen med kinesiske kolleger har han undersøgt nogle 1400 millioner år gamle klipper fra det nordlige Kina, som indeholder fossile rester af alger. Der var liv på Jorden for i hvert fald 3,8 milliarder år siden, men der gik meget lang tid, før de marine økosystemer begyndte at ligne dem, vi kender i dag. Først da nogle små mikroorganismer, cyanobakterierne, dukkede op, kom der skred i udvik-



I studiet har forskerne studeret fossiliserede alger i klipper fra den såkaldte Xiamaling-formation i det nordlige Kina. Foto: Don E. Canfield

lingen. Som de første organismer på Jorden producerede de ilt via fotosyntese og banede dermed vejen for iltforbrugende organismer.

»Nogle af dem var alger, som også producerede ilt via fotosyntese. De var mere effektive end cyanobakterierne, og da de dukkede op, bragte de havene et skridt tættere på de marine økosystemer, vi kender i dag,« siger Don E. Canfield.

I nutidens have er alger (med hjælp fra

cyanobakterier) grundlaget for alt andet liv i havene, blandt andet fordi de udgør en vigtig fødekilde. Derudover udgør de grundlaget for havenes kulstofpumpe, der trækker CO₂ ud af atmosfæren og videre til dybhavet. I den proces fjerner de også ilt fra vandet, og deres enorme produktivitet får således afgørende indflydelse på havets kemi.

»Urtidens cyanobakterier drev også en kulstofpumpe af en art, men cyanobakterier er små, og deres kulstofpumpe var formentlig meget mindre effektiv end algernes,« siger Don Canfield og fortsætter: »Da

algerne kom, begyndte de at cirkulere kulstof og næringsstoffer i havet på en måde, der minder om den måde, det foregår på i dag. Og det peger vores studier på, skete 600 millioner år tidligere end hidtil antaget.«

Algernes evolution i havene var altså et afgørende skridt frem mod udviklingen af den verden, vi lever i i dag. Studiet er publiceret i tidsskriftet *Precambrian Research*.

Birgitte Svennevig, SDU

Vandlopper skal gøres til god forretning

Med udgangspunkt i nye videnskabelige resultater skal et innovationsprojekt nu afdække, hvordan storskala-produktion af vandlopper kan gøres til en bæredygtig forretning for både en dansk producent og fiskeopdrættere verden over. Det er lektor Per Meyer Jepsen og professor Benni Winding Hansen fra Roskilde Universitet, som nu igangsætter projektet, der har modtaget 1,5 mio. i støtte fra Innovationsfondens Innoexplorer-program.

Formålet med projektet er at sikre en stabil forsyning af vandlopper til fiskeopdrætterne, så de får adgang til billigt foder, der har en optimal biokemisk profil, der kan sikre fiske-larvers overlevelse og vækst.

På verdensplan er fiskeriet i havet stagneret, og i dag stammer cirka 50 % af det samlede

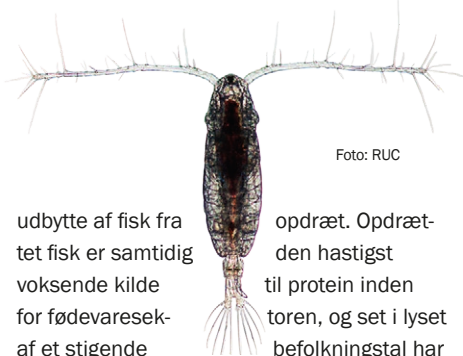


Foto: RUC

udbytte af fisk fra tet fisk er samtidig voksende kilde for fødevarersek- af et stigende industriel produktion af fisk et stort vækst-potentiale.

Forskergruppen fra RUC har 15 års erfaring på feltet og har for nyligt identificeret en særlig hårdfør type af vandlopper, der i modsætning til andre arter kan produceres og opskaleres ved hjælp af et billigt og let tilgængeligt kunstigt foder. Det er afgørende nyt, for med kunstigt foder er det muligt at producere vandlopperne uden samtidigt at

skulle dyrke deres naturlige fødekilde mikrokroalger, som er sårbare og tidskrævende at producere industrielt.

I Innoexplorer-projektet arbejder forskningsgruppen på Roskilde Universitet tæt sammen med en ekstern forretningskonsulent for at beskrive den bedst mulige forretningsmodel for produktion og salg af vandlopper. Projektet vil særligt undersøge salg og eksport til det asiatiske marked, hvor mere end 85 % af verdens fiskeopdræt finder sted. Centralt i undersøgelsen er forskellige scenarier for, hvor tæt på fiskeopdrættere produktionen af vandlopper bør placeres – herunder undersøgelser af, hvordan international transport påvirker vandlopperne's biokemiske profil og dermed deres værdi som fiskefoder.

Torben Jarl Jørgensen, kommunikationskonsulent, RUC

Verdens tag er vokset i højden

Det er ikke uden grund, at Tibet kaldes verdens tag. Med en gennemsnitlig højde på 4.500 meter over havet og med verdens to højeste bjergtoppe, Mount Everest og K2, tårner det enorme bjergområde sig højere op end noget andet sted på Jorden.



Det tibetanske plateau rummer en perlerække af verdens højeste bjerge, herunder Mount Everest også kaldet Qomolungma, som på tibetansk betyder Universets Moder.

Foto: Shutterstock

Men netop Tibets højde har i mange år været genstand for uenigheder forskere imellem. På den ene side mener nogle, at området har haft nogenlunde samme højde de seneste 20-30 millioner år, mens andre mener, at området er vokset op til to kilometer i højden i perioden.

Ved hjælp af nye analyser af havbunden i det Indiske Ocean og beregninger af bevægelsen af Jordens tektoniske plader, har en forsker fra Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning på Københavns Universitet nu bidraget

med nye svar på gåden. Og de viser, at virkeligheden nok befinder sig et sted midt mellem de to yderpunkter.

»Ved at kigge på ældre data om Tibets opståen og kombinere det med nye geologiske data fra det Indiske Ocean, er vi ret sikre på, at der for omkring 15-18 millioner år siden har været en stor geologisk forandring af Tibet, som har fået området til at vokse et sted mellem 300 og 600 meter i højden,« siger lektor Giampiero laffaldano, som er forfatter på studiet.

Forskeren fandt svaret på gåden på havbunden i det indiske Ocean. Her spyttede der løbende lava ud fra Jordens indre, som kan fortælle os om, hvordan Jordens tektoniske plader bevæger sig. Når lavaen størkner, indkodes den nemlig med Jordens magnetisering, som er den vej Nord- og Sydpolerne peger. Denne magnetisering er byttet rundt flere gange i Jordens historie, så Nord er blevet

til Syd, og det ved forskerne cirka, hvornår er sket.

Derfor kan forskerne spore de tektoniske plader til bestemte steder og tidspunkter, og det har Giampiero laffaldano udnyttet til at beregne hastigheden af Indiens kollision med Kina og derudfra vurderet højdetilvæksten af det tibetanske plateau.

Michael Skov Jensen, KU, *Geophysical Journal International*, Vol. 225, Iss. 2, PP 1349–1358.

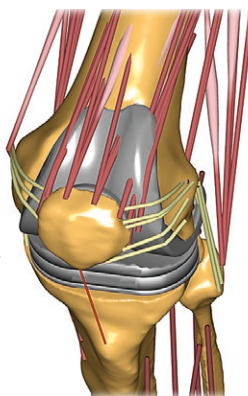
Knæprotese med elmotorer

Hvert år bliver der i Danmark udført cirka 10.000 knæudskiftninger på patienter, som får indopereret en protese. Ikke alle operationerne går godt. For hver ti knæoperationer i Danmark er to af dem genoperationer. Ofte sker det, fordi protesen ikke sidder rigtigt og dermed giver knæløshed, smerter og inflammation.

I fremtiden kan genoperationer måske helt undgås. Lektor i biomekanik på Aalborg Universitet, Michael Skipper Andersen, vil i et nyt projekt forsøge at løse udfordringen ved at indbygge små elmotorer i knæproteser. På den måde kan protesen finjusteres mens den sidder i patientens knæ. I første omgang vil forskerteamet finde svar på, hvorfor der så hyppigt opstår knæløshed efter implantation af en knæprotese.

»Når vi forstår, hvorfor knæløshed opstår, kan vi dernæst undersøge, hvordan vi bedst korrigerer for den løshed. Der findes allerede knæproteser med indbygget elektronik – typisk i form af sensorer til måling af kraft.

Illustration af et knæ med en protese (grå). Forskere vil nu tilføje små elmotorer, som kan justere protesen. Illustration: Michael Skipper Andersen.



Det bliver spændende at se, om det er muligt at udvide med motorer,« forklarer Michael Skipper Andersen

Forskning på området er i dag primært fokuseret på at forbedre kirurgens muligheder for at justere knæprotesen optimalt under den første operation. Blandt andet ved hjælp af robotkirurgi eller ved at bruge 3D-printede skæreguides. Forskerne fra AAU går en anden vej. De vil forsøge at give klinikere mulighed for at efterjustere, når patienten

oplever knæløshed. Tanken er at integrere en eller flere aktuatorer, som svarer til den type små elektriske lineære motorer, vi kender fra hæve-sænke borde. En knæprotese, som den ser ud i dag, består af to metaldele, der er placeret på hver side af knæleddet. I midten sidder en plastdel. Forskerne vil forsøge at koble en aktuator på plastdelen. Hvis det lykkes at koble aktuatorer på alle tre dele, kan protesen justeres på flere måder. Så vil både plast- og metaldele kunne bevæge sig mere fleksibelt sidelæns og frem og tilbage.

»Strømmen til elmotorerne tilføres udefra ved hjælp af et elektromagnetisk felt, når patienten er til efterjustering. Det er samme teknik, som benyttes ved trådløs opladning af en mobiltelefon. Det er ikke planen, at aktuatorer skal bruges i hverdagen, men kun de få gange på hospitalet, hvis patienten bliver ramt af knæløshed efter den første operation,« pointerer Michael Skipper Andersen.

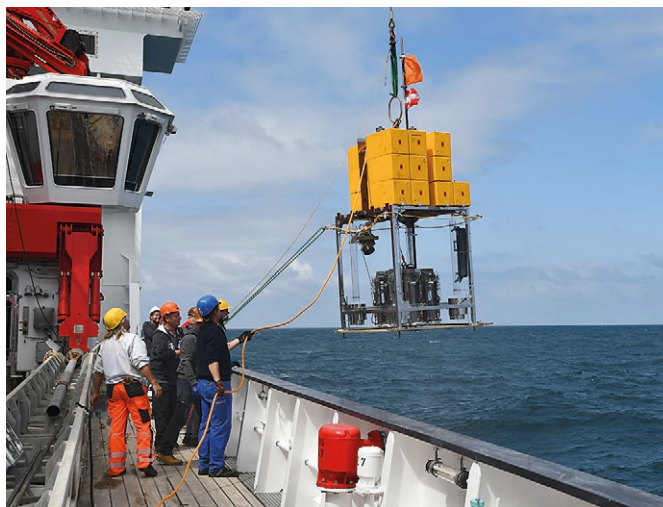
Projektet er støttet af Danmarks Frie Forskningsfond. Jeannette Bylov, Aalborg Universitet

Kviksølv hober sig op i dybhavsgravene

Der ligger hidtil usete mængder af det giftige tungmetal kviksølv på bunden af Stillehavets dybeste grave. Det konstaterer et internationalt forskerhold i et nyt videnskabeligt studie. Studiet er resultatet af et internationalt samarbejde mellem forskere fra Danmark, Canada, Tyskland og Japan.

»Mængden af det kviksølv, vi har fundet i dybhavsgravene, overstiger langt de værdier, der tidligere er registreret i sediment fra de åbne oceaner, og de er endda højere end i nogle af de områder på Jorden, der er forurenet af industri-udslip,« siger professor Hamed Sanei fra Institut for Geoscience på Aarhus Universitet. Han er førsteforfatter på den videnskabelige artikel, der for nylig er udgivet i *Science Reports*.

Ifølge Hamed Sanei er den dårlige nyhed, at de høje kviksølvsniveauer til dels kan ses som et udtryk for den stigende udledning af kviksølv til havene, som vi mennesker står for.



Forskerne i færd med at hente prøver op fra dybhavsgravene.
Foto: Anni Glud, SDU

»Den gode nyhed er, at dybhavsgravene fungerer som en endestations-losseplads, og at det kviksølv, der ender her, vil blive begravet i sediment og således deponeret i mange millioner år. Med tiden vil pladetektonik (geologiske aktiviteter) endda bære sedimenterne med kviksølv ned i Jordens indre,« siger han og fortsætter:

»Men selv hvis kviksølv bliver fjernet fra

biosfæren og begravet i Jordens indre, er det alarmerende, for det kan være en indikator for havenes generelle sundhedstilstand.«

Arbejdet er udført i Danish Center for Hadal Research, der er et grundforskningscenter for dybhavsforskning på Syddansk Universitet. Centeret undersøger livsformer og biogeokemiske processer i havets dybeste afgrunde for at forstå, hvilke roller disse unikke havmiljøer spiller i vores globale økosystem. Centeret ledes af professor Ronnie N. Glud fra Biologisk Institut.

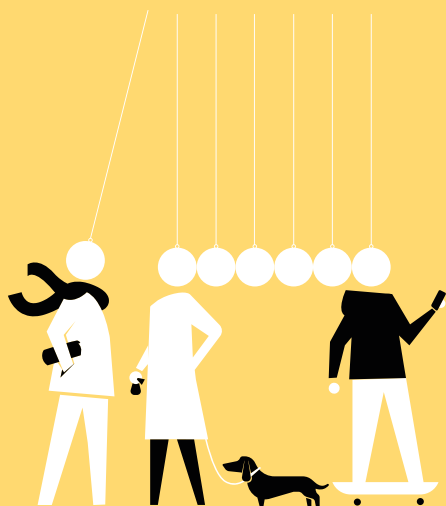
Han var videnskabelig leder af den ekspedition til de 8-10 km dybe dybhavsgrave Kermadec og Atacama i Stillehavet, der nu har givet forskerne de første direkte målinger af kviksølvsaflejringer i dybhavsgravens sediment – nogle af de absolut sværest tilgængelige områder på Jorden.

Rasmus Rørbaek, Aarhus Universitet, *Scientific Reports* vol. 11, Article no: 10970 (2021)

Det Naturvidenskabelige Fakultet

Tre gode grunde til at læse

Fysik på SDU i Odense



1. Fysikuddannelsen på Syddansk Universitet har en mentorordning, som betyder, at du altid har mulighed for at få den hjælp og vejledning, du har behov for gennem dit studie.
2. Du har mulighed for at specialisere dig inden for områder som astronomi, computerfysik, biofysik eller partikelfysik og kosmologi.
3. Når du læser Fysik på SDU, bliver du en del af et studiemiljø, hvor alle kender hinanden på tværs af årgange, og du har let adgang til at få vejledning hos dine undervisere.

International flåtforskning

Forfatternes forskning er del af det EU-støttede projekt NorthTick, Interreg VB North Sea Region Programme. Som del af projektet skal 11 parter på tværs af Nordsø-regionen forske i, hvordan sundhedssystemet bedst forebygger, diagnosticerer, behandler og informerer om sygdomme, der kan overføres ved flåtbid.

flåtinfo.dk

De arbejder også på at udvikle en dansk flåthjemmeside, flåtinfo.dk, der vil samle al information om flåter og flåtbårne sygdomme, og hvor man vil kunne hjælpe med at registrere flåtbid, så de kan kortlægge flåteaktivitet og udbredelse. Hjemmesiden vil være klar til registreringer fra juli i år.

Om forfatterne:



Karen Angeliki Krogfelt er professor.
karenak@ruc.dk



Mette Frimodt Hansen er ph.d.-studerende.
mefrha@ruc.dk

Begge ved Institut for Naturvidenskab og Miljø, Roskilde Universitet. De forsker i udbredelsen af flåtbårne sygdomme og den mest effektive diagnosticering af dem.

PAS PÅ SKOVFLÅTERNE

Skovflåten er i stand til at overføre mange forskellige sygdomsfremkaldende organismer til mennesket. Selvom sandsynligheden for at blive smittet faktisk ikke er så stor, holder forskerne et vågent øje med flåterne og de sygdomme, de spreder.

Sommeren er over os, og vi kan nyde mylderet af liv, når vi bevæger os ud i naturen. Det er dog ikke alle de myldrende organismer, vi hilser lige velkomne på turen ud i det grønne. For også skovflåten (*Ixodes ricinus*) er vågnet op til dåd, og den vil vi meget gerne undgå, da den kan suge blod fra os og derved overføre sygdomme. Skovflåtens aktivitet afhænger af temperaturen og vandindholdet i skovbunden, som er her, hvor skovflåten lever, når den ikke sidder på et værtsdyr for at få sig et blodmåltid.

Sæsonen strækker sig fra tidligt forår til sent efterår, og ofte til senere end man umiddelbart tror. Milde efterår, som vi for eksempel havde i 2020, gør, at flåterne kan være aktive til langt ind i november, og at der er flere i det følgende forår.

En flåt, ikke en tæge

Flåter hører til klassen Arachnida, hvor man også finder edderkopper. Flåter bør altså ikke forveksles med tæger, som er et insekt. Flåter er inddelt i tre familier: Argasidae (186 arter), Ixodidae (692 arter) og Nuttalliellidae (1 art). Alle flåter er parasitter, der er afhængige af et blodmåltid fra et værtsdyr for at kunne gennemføre deres komplekse udviklingscyklus.

Skovflåten, som er den flåt, vi oftest støder på i Danmark, er en såkaldt hård flåt (Ixodidae). Den gennemgår fire stadier i sin udvikling fra æg til voksen: Æg, larve, nymfe og voksen. Denne udvikling kan tage op til 3-4 år afhængig af det miljø og klima, som flåten befinder sig i.

Man har i de senere år set, at flåtepopulationerne ekspanderer – både geografisk, men også i antal. Som

følge af dette, kan der potentielt også blive en større udbredelse af flåtbårne sygdomme. Ændringer i antallet af aktive flåter skyldes delvist klimaforandringer, da klimaet er af afgørende betydning for skovflåtens udvikling og overlevelse, men andre faktorer spiller også ind, for eksempel større rådyrbestande.

Skovflåten er en vektor

Indenfor biologien kalder man et dyr, der overfører sygdomsfremkaldende mikroorganismer fra et dyr til et andet en vektor. Den nok mest velkendte vektor er stikmyg, som er skyld i den største andel af vektorbårne sygdomme på verdensplan. I Europa forholder det sig dog anderledes. Her er det skovflåten, der er den vigtigste vektor. Den kan overføre mange forskellige mikroorganismer såsom bakterier, vira og parasitter, som kan forårsage sygdomme i både mennesker, kæle-

Borreliose

Sygdommen borreliose er den mest kendte og udbredte flåtbårne sygdom i Danmark og skyldes bakterien *Borrelia burgdorferi* i bred forstand. Bakterien sidder i skovflåtens tarm og aktiveres og opformeres under blodmåltidet. Fordi der først skal ske denne aktivering og vandring til spytkirtlerne, går der nogle timer før *borrelia*-bakterien overføres til personen eller dyret, der er blevet bidt. Man siger typisk, at når man fjerner flåten inden for 24 timer fra, den har bidt sig fast, er risikoen minimal. Nyere forskning på mus viser imidlertid, at bakterien potentielt kan overføres indenfor 12 timer. Det er derfor vigtigt at fjerne flåten så hurtigt som muligt.

Borrelia findes i hele Danmark, hvor man finder flåter, og er man så uheldig at få en *Borrelia*-infektion, kan man opleve forskellige sygdomstilstande. Det er værd at vide, at der kan gå uger, før borreliose viser sig. Et rødt udslæt (erythema migrans) kan opstå ved bidstedet helt op til 30 dage efter et flåtbid. Udslættet kan variere i udseende og størrelse og er det hyppigste tegn på infektion. Op til 85 % af dem, der får borreliose, udvikler udslættet. Man kan altså godt være smittet uden at udvikle et udslæt. Oftest ligner det en skydeskive og er derfor også kendt som "bull's eye", men det kan også se anderledes ud. Udslættet kan forveksles med eksem og allergi. Derfor er det vigtigt at udviklingen af udslættet følges, for eksempel ved at lave et tusch-mærke omkring bidstedet – hvis udslættet vokser, kan der være tale om en infektion.



Typisk udslæt ved infektion med *borrelia*-bakterier. Foto: James Gathany/CDC

Symptomer på neuroborreliose, som er en betændelsestilstand i nervesystemet, kan opstå helt op til 8 uger efter flåtbidet. Symptomerne kan være brændende nakke- og rygsmerter langs rygsøjlen eller fra ryggen ud i arme eller ben, hovedpine, feber og træthed. I sjældne tilfælde kan en *Borrelia*-infektion sprede sig til led eller til hjertet eller give et vedvarende blåligt udslæt. Lige nu findes der ingen vaccine mod borreliose til mennesker, og en infektion medfører ikke immunitet. En *Borrelia*-infektion behandles med antibiotika.

Det er vigtigt at holde øje med flåter, når du har opholdt dig ude i naturen. Også i de kolde efterårsmåned. Foto: Colourbox

dyr og produktionsdyr. Borreliose og flåtbåren hjernebetændelse (også kendt som tickborne encephalitis eller TBE) er de mest kendte flåtbårne sygdomme i Danmark. Men der findes også andre mikroorganismer i danske skovflåter, som potentielt kan føre til sygdom i mennesker og dyr, for eksempel bakterien *Candidatus Neorhlichia mikurensis*, *Rickettsia*-bakterier, bakterien

Anaplasma phagocytophilum og parasitten *Babesia divergens*. Antallet af flåter, der er inficeret med disse, er dog meget lille (se tabel).

Skovflåtens blodmåltid kan overføre sygdom

Det er i forbindelse med deres blodmåltid, at flåter kan optage og overføre sygdomsfremkaldende mikroorganismer (sygdomsfrem-

kaldende mikroorganismer kaldes også patogener). I larve- eller nymfestadiet kan flåten blive inficeret, når den får sit blodmåltid fra små gnavere. I næste livsstadie (som henholdsvis nymfe eller voksen) overføres patogenet til et nyt dyr eller menneske, som nu potentielt kan udvikle sygdom. Det er altså ikke alle skovflåterne, der er inficeret med patogener.

Patogen	Gennemsnit (%)	Spændvidde (%)	Sygdom hos mennesket
<i>Borrelia burgdorferi sensu lato</i>	13	3,5-28,8	Borreliose
<i>Anaplasma phagocytophilum</i>	1,6	0,0-6,7	Granulocytær anaplasmose
<i>Babesia divergens</i>	0,2	0,0-0,7	Babesiose
<i>Candidatus Neorhlichia mikurensis</i>	3	0,0-12,9	Neorhlichiose
SFG <i>Rickettsia</i> -bakterier	5,8	0,2-20,6	Rickettsiose

Tabel 1. Tabellen viser andelen af flåtnymfer, der er inficerede med forskellige patogener i Norge, Sverige og Danmark. Denne infektionsprocent afhænger meget af vejr- og jordbundsforhold samt af, hvilken vegetation og hvilke dyr, der findes på de lokaliteter, hvor flåterne er indsamlet. Tabellen er baseret på udpluk fra forskningsartiklen *Spatial patterns of pathogen prevalence in questing Ixodes ricinus nymphs in southern Scandinavia*, 2016 af Kjær et al. 2020.



Man kan finde skovflåter stort set overalt, hvor deres værtsdyr findes, men sandede jorde, hvor risikoen for udtørring er stor, er dog ikke optimalt for en skovflåt. De trives i stedet i fugtige og skyggefulde omgivelser og kan findes i knæhøj vegetation, men også i kort græs og i skovbunden.

Trækker man et hvidt klæde hen over vegetation og skovbund, kan man se, at flåterne findes steder, man måske ikke umiddelbart ville tro. En ting er dog sikkert: De kommer ikke dumpende ned fra trækrone, og de kan ikke flyve.

Foto: Mette Frimodt Hansen

TBE

Tick-borne encephalitis-virus (TBE-virus) sidder i skovflåtens spytkirtler og smitter derfor potentielt inden for minutter. For at sikre sig bedst muligt mod smitte, er det derfor altafgørende at fjerne flåten hurtigst muligt. Jo hurtigere, flåten bliver fjernet, jo mindre mængde virus kan nå at blive overført.

TBE-virus forekommer i Danmark, men kun på få lokaliteter og mest på Bornholm. På Bornholm blev det første kliniske tilfælde rapporteret i 1950, og der rapporteres 2-4 tilfælde herfra årligt. I perioden 2008-2019 er der blevet registreret tilfælde på Sjælland, Fyn og i Jylland. I 2019 blev fire tilfælde rapporteret fra Tisvilde Hegn i Nordsjælland, hvor en naturlegeplads blev lukket på grund af TBE. Det er værd at bemærke, at de fleste registrerede tilfælde i Danmark, skyldes rejser til udlandet, især Sverige.

Symptomer, man skal holde øje med, er influenza-lignende sygdom muligvis efterfulgt af hovedpine, feber og lammelser. Symptomerne kan opstå efter en symptomfri periode, der kan variere fra dage til uger. Er man blevet smittet, er der ingen behandling. Der findes en vaccination, der beskytter mod TBE.



Når skovflåten skal have et blodmåltid, kravler den en smule op i vegetationen og sætter sig klar til at gribe sig fast på et forbigående værtsdyr. Man ved, at denne adfærd delvis er styret af temperatur og øges med stigende temperatur indtil et punkt, hvor udtørring tvinger flåten ned i skovbunden igen. På billedet sidder en voksen hunflåt (*I. ricinus*) og venter på sit næste bytte.

Foto: Mette Frimodt Hansen

En omfattende undersøgelse af flåter fra 50 forskellige lokaliteter i Norge (11), Sverige (9) og Danmark (30) i 2016 har vist, at antallet af inficerede flåter varierer meget fra område til område. For eksempel er gennemsnitligt cirka 13 % af nymferne smittede med *Borrelia*-bakterien *Borrelia burgdorferi*, men det kan variere fra 3,5%-28,8% afhængig af lokalitet. Andre undersøgelser har også vist, at der kan være årlige variationer i antallet af inficerede flåter på samme lokalitet.

En nyere svensk/finsk undersøgelse har vist, at risikoen for at udvikle sygdom efter at være blevet bidt af en *Borrelia*-inficeret skovflåt, er omtrent 2 %. De bekræftede også, hvad tidligere undersøgelser har fundet ud af, nemlig at risikoen for en *Borrelia*-infektion stiger, jo længere tid flåten suger blod. Så selvom risikoen for at få sygdommen borreliose er ganske lille, når man får en flåt, understreger det vigtigheden af at fjerne flåten hurtigst muligt.

Flere flåtbårne sygdomme i Danmark

Nogle flåtbårne sygdomme er kun for nyligt opdaget, hvorimod andre har været kendt længe, men findes nu på nye lokaliteter, for eksempel TBE. Som et led i diagnosticeringen af flåtbårne sygdomme, er det vigtigt at kende til forekomsten af patogenerne i flåterne. Med den viden er det muligt at kæde en udiagnosticeret sygdom sammen med flåtbåren sygdom.

Flåtbårne sygdomme og nye flåter, der kommer til landet, omtales lejlighedsvist i medierne, hvilket let kan føre til bekymring i offentligheden. Men som tallene viser, er det kun et fåtal af flåterne, der bærer på sygdomsfremkaldende mikroorganismer. Derfor skal man heller ikke af bekymring for flåter afholde sig fra at tage ud og nyde naturen. ■



KØBENHAVNS
UNIVERSITET

HVILKET VALG TRÆFFER DU?

Det var svært at få hjælp til at vælge uddannelse,
da dine forældre var unge.

Det er det ikke i dag. Tag et ***Uddannelsestjek***
på KU's naturvidenskabelige uddannelser. Så er du klar
til dit studievalg. Husk ansøgningsfristen 5. juli.



science.ku.dk/ba

Militært nødhospital i Camp Funston, Kansas, til patienter med den spanske syge under epidemien i 1918.

Foto: National Museum of Health and Medicine, Armed Forces Institute of Pathology, Washington, D.C., US.

DØDELIGE PANDEMIER

– COVID-19 er hverken den første eller den sidste



Om forskeren

Lone Simonsen er epidemiolog og professor ved Institut for Naturvidenskab og Miljø, Roskilde Universitet. Hun forsker i modellering af moderne pandemier og nye infektionssygdomme. Hun er leder af det nyetablerede PandemiX Center, der skal undersøge pandemiers dynamik og effekt, så vi kan forbedre beredskabet imod nuværende og fremtidige pandemier.

Forfatteren:

Kristian Sjøgren er videnskabsjournalist. ksjoegren@gmail.com

I 1918 blev verden ramt af den hidtil mest dødelige pandemi i moderne tider, og i disse år hærger endnu en global dræber. Forskere er i et kapløb med tiden for at forstå, hvordan vi kan lære af fortidens pandemier for bedre at forstå nutidens modstykker.

For lidt over 100 år siden skete der noget i verden. I et ellers ubetydeligt øjeblik et eller andet sted på planeten sprang en lille viruspartikel i form af influenza A fra fugle til mennesker. Det er faktisk ikke atypisk, at virus prøver at sprede sig i andre arter, men det er ikke altid, at det er en succes.

Det var det dog i 1918, hvor influenza A meget hurtigt fandt sig til rette i vores lunger og i vores biologi. Kombineret med massive menneskebevægelser i forbindelse med første verdenskrig nåede denne influenza A ud til alle afkroge af planeten, og det gik ikke stille for sig. Danmark blev ramt af fire bølger af

virussen, inden den til sidst døde ud fem år senere, da nok af os havde udviklet antistoffer mod den. Da det endelig skete, var 2 procent af verdens befolkning døde.

Ligesom i dag satte verden dengang alle ressourcer til rådighed for til dels at bremse virus med tiltag til dels at nedsætte smittespredningen og dels at finde ud af, hvor denne 11. plage kom fra. Nogle mente, at den opstod i skyttegravene under første verdenskrig, hvor mennesker bogstaveligt talt lå oveni hinanden under uhygiejniske forhold. Andre mente, at den var opstået i USA. Den tredje hypotese gik på, at den var opstået i Kina og var fragtet til Europa og USA af kinesiske immigranter.

Virussen fik dog navnet "den spanske syge", fordi Spanien på det tidspunkt var et af de få lande i verden med fri nok presse til at kunne fortælle åbent om smitten. Det navn har spanierne nok ikke selv været så tilfredse med.

Svarede til en verdenskrig

Spoler vi tiden 100 år frem, er verden igen bragt i knæ af en virusforårsaget verdensomspændende pandemi. Denne gang skyldes det coronavirus, der ligesom influenza A er hoppet fra dyr til mennesker og skaber død og ødelæggelse blandt os, fordi vi intet forsvar har mod netop denne form for virus.

Professor Lone Simonsen er epide-

Her er den virus, som pandemiforsker frygter mest

Lone Simonsen har fingeren på pulsen, når det kommer til både fortidens dødelige pandemier og de virus, som vi skal holde øje med i fremtiden. Ligesom WHO har hun øjnene rettet mod blandt andet SARS, MERS og nipah, der helst ikke skal mutere til at kunne udvikle sig til verdensomspændende pandemier, da dødeligheden langt overstiger det, som vi kender til fra COVID-19. Eksempelvis holdt verden vejret under et SARS-udbrud i 2003. 8.098 personer blev smittet, hvoraf 774 døde, inden den blev bekæmpet og manet i jorden senere det år. Det giver en dødelighed på 9,7 %. Til sammenligning er dødeligheden ved smitte mod COVID-19 under én pct, men på grund af den store evne til at smitte har verden allerede rundet 3 mio. dødsfald, og pandemien er ikke overstået.

Lone Simonsen har dog også øjnene rettet mod en virus, der ikke er på WHO's liste, men måske burde være det. Den virus er abekopper. Abekopper laver fra tid til anden små begrænsede udbrud i blandt andet Congo, med et ubehageligt sygdomsforløb og 10 % dødelighed blandt kendte tilfælde. At Lone Simonsen netop frygter abekopper skyldes, at vi for 40 år siden stoppede med at vaccinere mod kopper, en beslægtet poxvirus. Det vil sige, at alle under 40 år ikke har antistoffer i kroppen mod nogen form for poxvirus, og skulle abekopper fra Congo først sprede sig ud over landets grænser, er næsten halvdelen af verdens befolkning helt og aldeles forsvarsløse, ligesom de indfødte i Mellemamerika var det, da de spanske conquistadorer trådte i land og bragte en stribe af befolkningsudryddende sygdomme med sig.



Et barn fra Zaire inficeret med abekopper. Sygdommen blev først identificeret i laboratorieaber, og deraf navnet, men i naturen lader virussen til at inficere gnavere hyppigere end aber. Foto: Pan American Health Organisation. CC BY-ND 2.0

miologi ved Roskilde Universitet og har i mange år forsket i fortidens pandemier for på den måde bedre at forstå pandemiernes dynamik – både dem i fortiden og dem, som rammer i nutiden.

I forbindelse med den spanske syges 100-års fødselsdag holdt hun mange foredrag om emnet, hvori hun fortalte tilhørerne, at hvis hun skulle pege på en fremtidig pandemitrussel, ville hun kigge sig over skulderen efter coronavirus – ret godt forudset, ikke sandt?

Lone Simonsen forskning går ud på at forstå pandemier, så vi bedre kan stå imod dem, når de uundgåeligt kommer. Og skal man være lidt hårdhudet, så er COVID-19 ikke det værste, verden har set. Den spanske syge tog livet af op imod to procent af verdens befolkning. Hvis verden skulle rammes af en lignende pandemi i dag, ville dødstallet ikke være i omegnen af et par milli-

oner, som det er for COVID-19, men nærmere over 60 millioner.

»Den spanske syge sænkede den forventede levetid i de ramte lande med 12 år i pandemi-perioden. Så dødelig var den. Det er lige så voldsomt som effekten af en verdenskrig. Specielt unge mennesker døde af influenza A under den spanske syge, så det var rigtig mange leveår, som gik tabt,« siger Lone Simonsen.

Pandemier kan ramme unge og gamle vidt forskelligt

I sin forskning i pandemiernes dynamik har Lone Simonsen koncentreret en stor del af sit arbejde om at forstå den spanske syge, som alt andet lige er den mest dødelige pandemi i moderne tider.

De helt centrale spørgsmål i forhold til at forstå en pandemi er blandt andet, hvorfor den opstår, hvordan sygdommen spreder sig, hvor mange bølger den kommer i, og hvem

der er udsat og hvorfor. I forhold til det sidste punkt adskiller COVID-19 sig i hvert fald fra den spanske syge, fordi COVID-19 især rammer ældre hårdt. Den spanske syge svingede i stedet leen over de unge i 20 til 35-årsalderen, som ellers havde udsigt til at have hele livet foran sig.

Under COVID-19 er antallet af raske unge, som dør af infektionen, lavt, hvilket ikke så forskelligt fra sæson-influenza. Den spanske syge gik til gengæld nærmest hen over hovedet på dem over 40 år. Noget lignende så man under influenza H1N1-pandemien i 2009. Der blev personer over 60 år heller ikke syge.

»For både den spanske syge og pandemien i 2009 forstår vi nu, at de ældre har haft en vis beskyttelse, fordi de har været smittet med lignende influenzavirus tidligere i livet, måske allerede i barndommen. De-

Den spanske syge afgjorde måske første verdenskrig

Den spanske syge hærgede fra 1918 til 1920 og slog 2% af verdens befolkning ihjel. Danmark slap noget mildere med 0,3% af befolkningen døde (cirka 15.000 danskere), mens tallet for USA var 675.000.

Den spanske syge skyldtes influenza A, der angreb især lungerne og gjorde det hurtigt. Der var rapporter om folk, som havde det helt fint og var symptomfri om formiddagen, men som få timer senere døde af iltmangel, mens de spyttede skummende blod ud mellem læberne. De smittede blev også ofte blå i hovedet på grund af mangel på ilt.

Sygdommen menes også at have været udslagsgivende for udfaldet af første verdenskrig. I de europæiske skyttegrave havde virus frit spil til at hoppe fra den ene soldat til den anden, og eksempelvis USA mistede lige så mange soldater til den spanske syge, som de mistede i krigshandlinger på europæisk jord. Centralmagterne i Europa (Tyskland, Østrig-Ungarn og det Osmanniske Rige) stod på den ene side af konflikten, og netop disse lande blev både ramt tidligere og hårdere af pandemien end de allieredes modstykker. Det kan have været med til at tippe magtbalancen.



Amerikanske soldater i Seattle på vej mod Europa til slagmarken i Frankrig i 1918. Soldaterne bærer masker for at beskytte sig mod den spanske syge. Foto: Shutterstock.

res immunforsvar har derfor været rustet til at tage sig af virussen, mens de yngre, som ikke var i live, da den tidligere virus huserede, var særdeles sårbare,« forklarer Lone Simonsen.

Lone Simonsen sammenligner effekten af smitte med en ny variant af influenzavirus med, da de første europæere rejste over Atlanterhavet til "den nye verden". Her blev de indfødte udsat for en masse virus, som deres immunforsvar aldrig havde mødt før, herunder mæslinger og kopper. Resultatet var en enorm og katastrofal dødelighed blandt den lokale befolkning.

Pandemier udvikler sig forskelligt

Lone Simonsen forskning i pandemi-dynamikkerne viser også, at det er værd at holde øje med, hvordan de forskellige bølger opfører sig. Den første bølge kan måske virke mild, men så kan der komme en anden eller tredje bølge med en helt anden saft og kraft, der sender præster og bedemænd på overarbejde.

Skeler vi igen til den spanske syge, slap Danmark faktisk ret godt gennem den første bølge i sommeren 1918. Den var ret mild, men vi nåede kun lige at hæve armene over hovedet i fem måneder, inden den anden bølge kom som ridende på ryggen af Fanden selv og var seks gange mere dødelig.

Under COVID-19 har vi i Danmark reageret så voldsomt, at smitten ikke har nået at sprede sig ret meget, og der er derfor ikke tale om den samme slags "bølger" som under fortidens pandemier. Men nogle steder har COVID-19 været vidt udbredt og nået ud til næsten alle. I Manaus i Brasilien ramte første bølge befolkningen hårdt, og det fik folk til at tro på, at de kunne slippe med en mildere anden bølge, fordi de fleste var immune. Men så opstod den brasilianske variant, og byen blev kastet ud i endnu en stor dødelig bølge, hvor det ikke ser ud til, at flokimmuniteten fra den oprindelige virus var beskyttende.

»Det kan gå begge veje. Historisk har vi set, at de efterfølgende bølger både kan blive mildere og mere dødelige end den første. Derfor er det også så vigtigt, at vi får styr på flugtvarianter som den brasilianske og den sydafrikanske, som kan overvinde vaccinenes beskyttelse i nogen grad. Og så kan vi få nye store udbrud og skal opdatere vaccinerne, for at de beskytter ordentligt,« siger Lone Simonsen.

Den tredje ting, som kan kendetegne en pandemi, og som også er relevant at have for øje, både historisk og i nutiden, er sæsoncyklus i pandemier. Nogle pandemier følger typiske influenzasæsoner, der buldrer afsted om vinteren og dør langsomt hen, når foråret kommer. Det gælder dog ikke alle.

»Kigger vi på influenzapandemien i 1889, blev verden ramt af den første bølge om vinteren, ganske som forventet, men så kom den anden bølge allerede igen om sommeren,« fortæller Lone Simonsen.

Plakat med Sundhedsstyrelsens anbefalinger til at begrænse smitte med Den Spanske Syge fra 1918. Man bemærker mange lighedstræk med nutidens anbefalinger vedrørende COVID-19. Kilde: Sundhedsstyrelsen.

Forholdsregler mod Udbredelse af Influenza

1. Iagttag den størst mulige Renlighed.
2. Hold Haanden for Munden, naar De hoster eller nyser.
3. Pas paa, at ingen hoster, nyser eller taler ind i Ansigtet paa Dem.
4. Hold Telefontragten ren, særlig hvor den bruges af mange.
5. Sørg for god Udluftning af Værelserne.
6. Hold de raske saa vidt muligt borte fra de syge.
7. Undgaa unødvendig Besøg hos de syge.
8. Staa ikke for tidligt op efter Sygdommen.
9. Undgaa Steder, hvor mange Mennesker er samlede.
10. Udsæt større Møder og Forsamlinger.
11. Kør ikke mere end nødvendigt i Spervogn.
12. Sørg for, at Børnene er saa meget som muligt i fri Luft.

Sundhedsstyrelsen, 17. Oktober 1918.

Lone Simonsen holder foredrag om emnet i serien Offentlige Foredrag i Naturvidenskab oktober 2021. Følg med på OFN.dk

COVID-19-forholdsregler stammer fra den spanske syge

Så er vi fremme ved nutiden og COVID-19 igen. For når det gælder risikoen for at have flere pandemibølger indenfor samme år, er restriktioner og adfærd nøgleord.

På Lone Simonsen hylde er indrammet nogle retningslinjer for beskyttelse mod den spanske syge fra 1918. Det er forholdsregler, der er udstedt den 17. oktober samme år. Opfordringen lyder blandt andet, at folk skal holde sig for munden, når de nyser, de skal rengøre telefontragten, efter de har talt i telefon, og man skal holde raske og syge personer hver for sig.

»Man skulle også holde sig fra store folkemængder, og nogle brugte hjemmelavede masker. Men dengang havde man ikke vacciner, så det var bare om at holde ud, indtil de fleste havde været igennem smitten, og flokimmunitet havde sat ind,« fortæller Lone Simonsen.

Hvis mange af retningslinjerne

virker bekendte, er det ikke et tilfælde. Pandemibekæmpelse har mange hundrede år på bagen og trækker tråde helt frem til nutiden. I starten af den igangværende pandemi har mange måske set de kurver, som både nationale og internationale sundhedsmyndigheder har trukket frem, og som viser smitteudviklingen, hvis vi tager vores forholdsregler – og hvis vi ikke gør noget.

Ideen om denne grafiske fremstilling af røde og grønne kurver stammer faktisk fra et videnskabeligt studie fra 1918, hvor amerikanske forskere sammenlignede, hvad der skete i 17 byer som i forskellig grad indførte restriktioner.

Den spanske syge startede i Amerika på østkysten, så på vestkysten havde man tid til at forberede sig og indføre tiltag, som, man kunne se, virkede. Man lukkede blandt andet biografer og skoler ned, og det havde en markant effekt på smittespredningen – virker det bekendt?

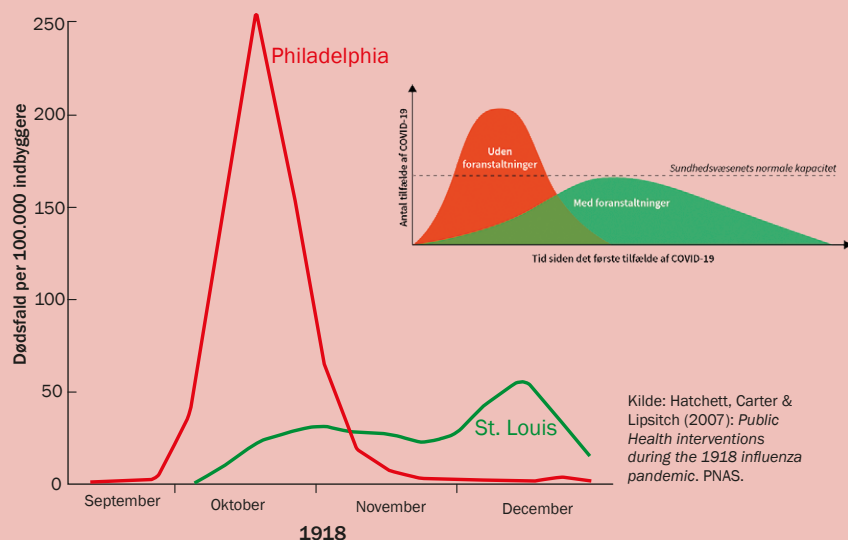
Det med at lukke skolerne startede man med i 1918, og faktisk har man gentaget succesen flere gange i historien. I 1957 lukkede mange lande deres skoler ned under pandemien med H2N2, og det samme gjaldt skoler i blandt andet Hongkong under 1968 H3N2-pandemien. Begge var forresten influenzavirus-pandemier med mere moderate dødstal på i omegnen af 1-2 mio. mennesker på verdensplan under pandemiernes løbetid. Sammenligner man med en normal influenzasæson, er tallene dog væsentligt højere, da normale sæson-influenzaer tager livet af omkring 400.000 til 500.000 af vores medborgere verden over.

Virus var tæt på at blive globale skrækscenarier

Inden det hele kommer til at handle om den spanske syge og COVID-19, så studerer Lone Simonsen faktisk mange andre pandemier for at blive bedre i stand til at rådgive beslutningstagere om de korrekte forholdsregler og modsvar.

Smittekurver

Den rød-grønne smittekurve, vi er blevet præsenteret for utallige gange i starten af COVID-19-epidemien, har sin rod i et studie fra 1918 af udviklingen af Den Spanske Syge i 17 amerikanske byer. To af yderpolerne var Philadelphia og St. Louis. Det første tilfælde af den spanske syge i Philadelphia blev registreret den 17. september, men myndighederne tillod i første omgang, at borgerne stadig kunne mødes i større forsamlinger. Først den 3. oktober blev der vedtaget påbud om social afstand. Til sammenligning blev det første sygdomstilfælde rapporteret i St. Louis den 5. oktober og regler om social afstand allerede vedtaget to dage senere den 7. oktober. Forskellen på udviklingen i de to byer er slående.



Blandt andet har hun studeret AIDS-pandemien, der blev sat skakmat af effektive behandlinger og oplysningskampagner. Med COVID-19 bliver det derimod vaccinerne, som ender pandemi-fasen i den forhåbentligt ikke så fjerne fremtid.

Så er der også kolerapandemien i 1853, som slog tre procent af den danske befolkning ihjel. Som i den nuværende pandemi gik det især ud over de ældre. Dog er kolera en sygdom, der smitter gennem tæt kontakt mellem mennesker. På den måde minder den om eksempelvis

Ebola-udbruddet i Vestafrika, som blev stoppet ved at ændre farlig adfærd og uden vacciner og effektiv behandling.

Historisk set har flere virus også taget tilløb til at blive frygtelige globale dræbere. Det gælder blandt andet nipah, SARS og MERS, som med tårnhøj dødelighed kan få det til at løbe koldt ned ad ryggen på de fleste, men som alligevel ikke har haft egenskaberne til at kunne sprede sig som en steppebrand blandt mennesker, hvilket er en forudsætning for at

skabe en pandemi.

»Sådanne højdødelige virus kan dog muligvis blive gode til at sprede sig fra person til person i fremtiden, og så kan vi stå med et stort problem mellem hænderne. De er også på WHO's liste over bekymrende virus, som man skal holde øje med. Vi er i disse år blevet smerteligt bevidste om, hvor vigtigt det er at være forberedt på fremtidens pandemier. Det er ikke et spørgsmål, om de kommer, men hvornår de kommer, og hvor alvorlige de er,« siger Lone Simonsen.

Sygdom	Årsag	Nævneværdige epidemier	Dødelighed	Status behandling
Pest	Bakterien <i>Yersinia pestis</i> . Overføres via lopper (fra rotter)	Epidemier kendes fra år 542. Mest alvorlig var epidemien i midten af 1300-tallet.	Mindst 30 % mortalitet. Kan i perioder have udryddet op til halvdelen af befolkningen regionalt. Mange millioner døde	Kan kureres med antibiotika. Karantæneforanstaltninger kan have været medvirkende til at få sygdommen under kontrol i sin tid.
Kopper	Virussen variola (2 typer: <i>Variola major</i> , og <i>Variola minor</i>)	Fra 1500-tallet, hvor sygdommen blev bragt til Sydamerika. Har hærget Europa helt frem til 1900-tallet.	Variola major: ca. 33 % dødelighed – variola minor omkring 1 %	Der findes stadig ingen behandling. Men vacciner har officielt udryddet kopper i 1980
Plettyfus	Bakterien <i>Rickettsia prowazekii</i> . Overføres via lus	Kendes fra store felttog i 30-årskrigen, Napoleons march mod Rusland i 1812 og 2. Verdenskrig.	Dødelighed: 15-20 %	Kan behandles med antibiotika. Dårlig hygiejne og høj befolknings-tæthed giver grundlag for sygdomsudbrud.
Turbekulose	Stammer af mykobakterie-komplekset, som regel <i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Knap 1/4 af verdens befolkning antages at være smittet med bakterien – kun en brøkdel udvikler sygdom.	Langt over en million dødsfald i verden om året og 10 millioner tilfælde. Formentlig den største dræber gennem tiden.	Kan behandles med antibiotika, men multiresistente bakterier er et stigende problem.
Kolera	Bakterien <i>Vibrio cholerae</i>	Udbredte epidemier i midten af 1800-tallet.	Uden tilstrækkelig behandling med væske og salte er dødeligheden høj. Men med er den under 1%.	Rent vand og kloakering kan inddæmme sygdommen. Kan behandles med antibiotika.
Den spanske syge	Influenzavirus (H1N1)	1918-1920	Cirka 50 millioner døde på verdensplan.	Der var ingen effektive behandlinger eller vacciner, da epidemien rasede

LÆS INGENIØR- VIDENSKAB

SØG INDEN
5. JULI

**BRÆNDER DU FOR BÆREDYGTIGHED, OG HAR DU AMBITIONER
PÅ KLIMAMÅLENE VEGNE? OG VIL DU VÆRE MED TIL AT LØSE DE
SAMFUNDSMÆSSIGE UDFORDRINGER, SOM VERDEN STÅR OVERFOR?**

Så er vores nye bacheloruddannelse i Ingeniørvidenskab det helt rigtige valg for dig. Du opnår et bredt ingeniørmæssigt fundament og lærer at arbejde på tværs af faggrænser, hvorefter du selv vælger en teknisk specialisering, som du synes er spændende.

LÆS MERE PÅ [ENERGI.AAU.DK](https://energi.aau.dk)



**AALBORG
UNIVERSITET**



MIKROBER HAR MAGT TIL AT GØRE DIG SYG – og holde dig rask

Enhver ved, at mikrober i form af bakterier, arkæer, virus og svampe kan være farlige og gøre os syge. Men deres vigtigste rolle er faktisk, at de hjælper os med at holde os sunde og raske. Derfor skal vi passe på de mange sundhedsfremmende mikrober, som lever i og på os.

Når folk hører ord som bakterier og virus, tænker de ofte på den sorte død, den spanske syge, SARS, ebola, fugleinfluenza, kød-ædende bakterier, multiresistente gule stafylokokker og så selvfølgelig COVID-19. Det er infektionssygdom, død og ødelæggelse i lange baner.

Mikrober har unægtelig magt til at gøre os syge eller i værste fald slå os ihjel. Derfor er der også god grund til, at vi betragter mikroberne med frygtsomhed, respekt eller måske endda ærefrygt.

Det billede bliver dog i disse år nuanceret en hel del. Det skyldes "brute force"-forskning i menneskets mikrobefund – kaldet mikrobiomet – ved hjælp effektive genteknologiske metoder, kunstig intelligens og enorme computerkræfter.

Mikrobiomforskningen har vist, at der i os og på os bor milliarder og atter af milliarder af virus, bakterier, arkæer og svampe. Samme forskning viser også, at mens et fåtal af mikroberne kan gøre os syge, er flertallet af de mange tusinder forskellige mikrober, som vi lever i

sameksistens med, faktisk ganske harmløse eller sågar gavnlige. Mange af dem har vi endda svært ved at leve uden.

»Indtil for få år siden blev en stor del af de mikrober, som lever i og på os, betragtet som blinde passagerer, men inden for de seneste 10-15 år er vi blevet klar over, at de er meget aktive livsledsagere. Mikroberne har ikke bare deres eget liv, men et samliv med os, som både vi og de har rigtig meget gavn af. For eksempel er bakterierne små kemifabrikker, der producerer hundredvis af kemiske stoffer, der



Af videnskabsjournalist
Kristian Sjøgren
ksjoegren@gmail.com

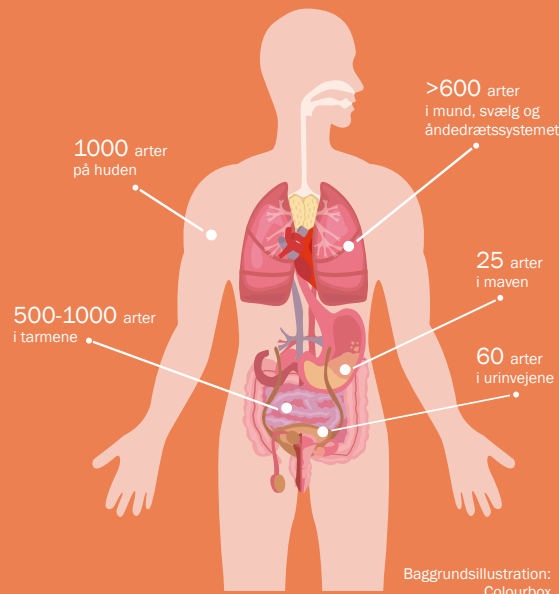
Om bakterier, arkæer, virus og svampe

Bakterier er encellede organismer uden cellekerne og mitokondrier (energiproducerende organeller i cellen). Det betyder blandt andet, at deres DNA ligger i cytoplasmaet som ét enkelt kromosom og nogle mindre strukturer, der kaldes for plasmider. En bakterie kan indeholde fra få hundrede til mange tusinde gener, og så kan de have forskellige former fra at være kuglerunde til stavformede eller spiralformede eller have forskellige farver, blandt andet pink, rød og gul. Nogle bakterier kan bevæge sig ved hjælp af en lille hale.

Arkæer ligner bakterierne og har mange af de samme karaktertræk. De er blandt andet også encellede og mangler en cellekerne. Evolutionært er de dog forskellige fra hinanden, hvilket blev opdaget ved hjælp af DNA-forskning i 1970'erne. Bakteriernes og arkæernes cellemembran og stofskifte er eksempler på, hvor de to former for organismer er forskellige.

Virus er små partikler med en størrelse på blot 20 til 300 nanometer. De består af DNA eller RNA og en proteindel. Vira er helt og aldeles afhængige af en vært for at kunne reproducere sig selv, da de ikke har det genetiske maskineri til selv at gøre det. Vira er i stand til at inficere celler fra mennesker og dyr, mens de vira, der inficerer bakterier, kaldes for bakteriofager.

Svampene har i modsætning til bakterier og arkæer både cellekerne og mitokondrier (de er eukaryoter,



Den menneskelige krop er beboet af et enormt antal mikroorganismer, som fordeler sig på mange forskellige arter. Figuren viser det anslåede antal arter, der kan findes på eller i de meste artsrige organer i den menneskelige organisme.

mens bakterier og arkæer er prokaryoter). Dermed er svampe tættere beslægtet med blandt andet mennesker, andre dyr, planter og træer, der også er eukaryoter. Svampe reproducerer sig ukønnet.

gavner vores helbred på forskellige måder, og det gør de i både vores tarm, i munden, i luftvejene, i vagina, i øjenvæsken og på huden,« forklarer professor og forskningsleder Oluf Borbye Pedersen fra Novo Nordisk Foundation Center for Basic Metabolic Research ved Københavns Universitet.

Gavnlige tarmmikrober

Forskere skønner, at der lever omkring 50.000 milliarder bakterier og arkæer i et voksent menneskes tarme. Antallet af virus anses for at være omkring ti gange så højt, og dertil kommer svampene, der dog ikke er så mange af.

Mikroberne bor i og på os mennesker, fordi vi skaber nogle rigtig gode betingelser for dem i form af perfekt temperatur og fugtighed samt en konstant strøm af næringsstoffer, så de kan vokse og formere sig.

Alt, hvad vi gør, har betydning for sammensætningen og funktionen af mikrober i og på os. Og sammensætningen af mikrober har betydning for, hvordan vi har det både fysisk og mentalt. Derfor er der god grund til at have respekt for og tage sig godt af sine mikroskopiske livsledsagere, for så vil de også tage sig godt af en.

Men hvordan gør man så det?

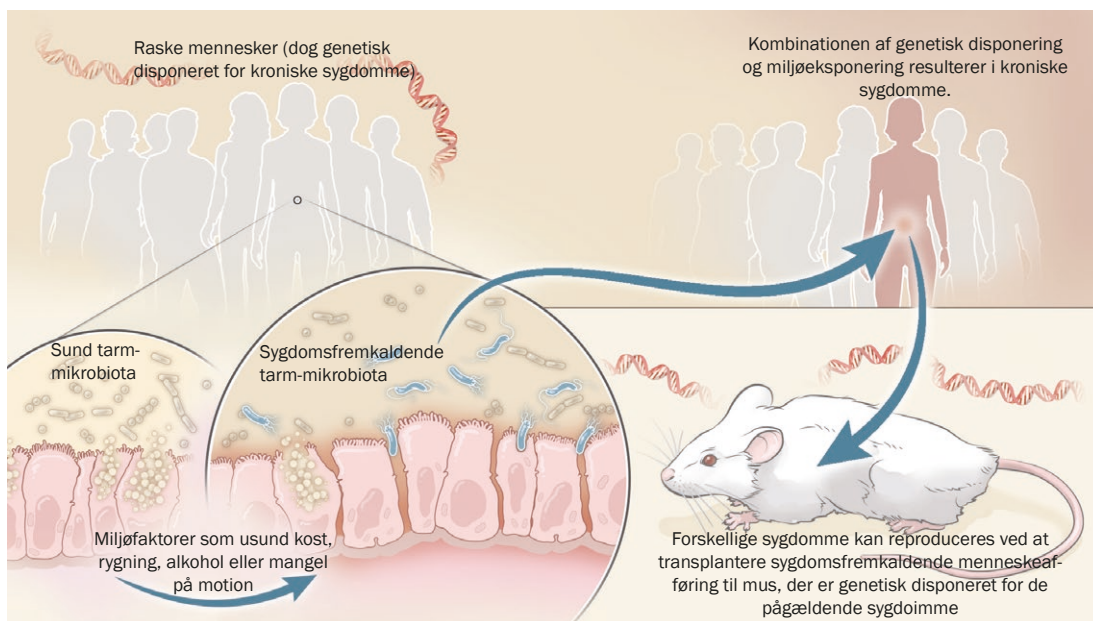
Lever man sundt med masser af grøntsager på tallerkenen, godt med daglig motion og ingen cigaretter eller overforbrug af alkohol, fremmer man væksten af bakterier, der producerer et væld af sundhedsfremmende stoffer i primært tarmen, men også i og på andre af kroppens hulrum og slimhinder. Disse stoffer er blandt andet kortkædede fedtsyrer, som mindsker inflammation i kroppen, gavner stofskiftet og regulerer dannelsen

af flere tarmhormoner.

Er man til gengæld forfalden til burgere og pomfritter, har svært ved at få snøret løbeskoene, er lidt for glad for alkohol og ikke har fået lagt smørgerne på hylden endnu, fremmer man væksten af bakterier og andre mikrober, som man ikke har lyst til at have i kroppen. Eksempelvis stimulerer et stort og hyppigt indtag af kød fra firbenede dyr som svin og okse væksten af helt andre typer af bakterier, der producerer nogle ret så uheldige stoffer. Ud fra L-carnitin og fosfatidylkolin i kødet producerer disse bakterier blandt andet trimetylamin, som i leveren omdannes til trimetylamin-oxid. Dette stof kan lede til åreforkalkninger på samme måde som det usunde LDL-kolesterol.

Er man kvinde, bør man desuden seriøst overveje, om cigaretterne

Illustrationen opsummerer, hvordan forskerne forestiller sig, at tarmbakterier påvirker udviklingen af kroniske sygdomme. Mange forskellige sygdomme mistænkes at kunne opstå som følge af ubalancer i kollektivet af tarmbakterier.

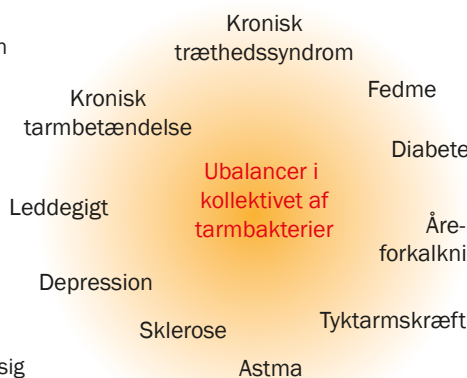


ikke skal skrottes (det bør man også som mand).

»Hos kvinder fremmer rygning også væksten af en type af bakterier, der producerer ildelugtende stoffer i vagina. Der er altså mange forskellige gode grunde til at tage sig godt af sine mikrober, for så tager de sig også godt af en,« siger Oluf Borbye Pedersen.

Mikrober og folkesygdomme

Væksten af helbredsforstyrrende bakterier kan have meget større konsekvenser end et ildelugtende underliv.



Alle mennesker er i en eller anden grad disponeret for at udvikle forskellige former for kroniske sygdomme. Det kan dreje sig om fedme, type 2-diabetes, åreforkalkning, Alzheimers, Parkinson, depression

eller en af de omkring 15 andre hyppige sygdomme, der går under betegnelsen "folkesygdomme".

»Folkesygdomme er polygene. Det vil sige, at der hos det enkelte menneske er mange forskellige varianter i vores gener, der øger risikoen for at udvikle en eller flere af disse sygdomme. Hver enkelt variant øger kun sygdomsrisikoen meget lidt, men vi har alle sammen mange "sårbarhedsvarianter" for den enkelte folkesygdom i vores DNA – hos den enkelte af os i forskelligt antal for den enkelte sygdom,« fortæller Oluf Borbye Pedersen.

Om forskeren

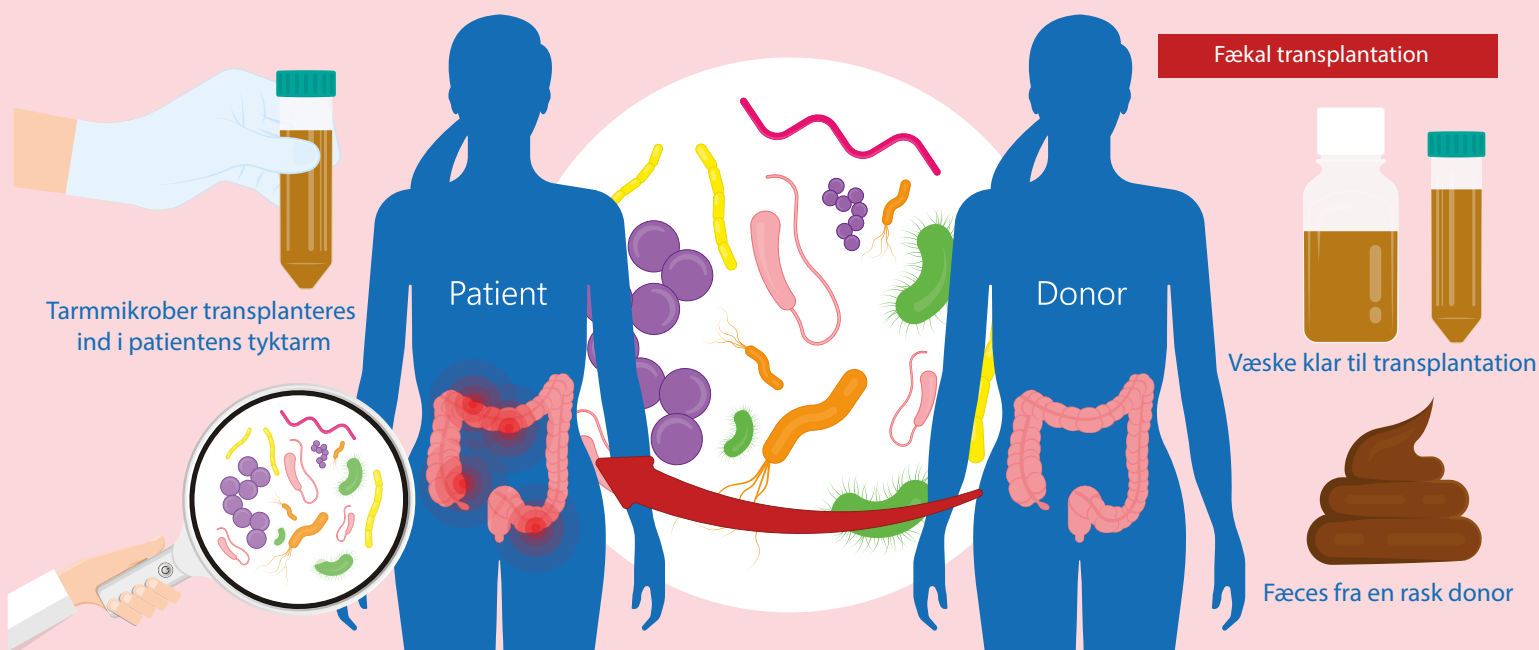
Oluf Borbye Pedersen er professor og forskningsleder ved Novo Nordisk Foundation Center for Basic Metabolic Research ved Københavns Universitet. Han hører til blandt de internationale pionerer inden for mikrobiomforskningen, altså forskning i de mikrober, som lever i og på mennesker.

I 2019 udgav han bestseller-bogen *Magtfulde mikrober*, Politikens Forlag i samarbejde med Kristian Sjögren. Han holdt foredrag om emnet i foredragsserien Offentlige Foredrag i Naturvidenskab den 18/5 2021.



Siden den genetiske disposition til mange kroniske sygdomme ligger i vores DNA, kan man undre sig over, at vi ikke alle sammen udvikler et væld af forskellige folkesygdomme.

Forskere som Oluf Borbye Pedersen arbejder dog med den hypotese, at de fleste af de genetiske risikofaktorer ikke kommer til udtryk, fordi kroppens mikrobefund, og især de bakterier og arkæer, som lever i tarmen, producerer mange forskellige gavnlige stoffer, der lægger sig som et skjold over den arvelige sårbarhed.



Behandling med fækal transplantation har vist sig at kunne kurere ni ud af ti tilfælde af livstruende kronisk diarre med bakterien *Clostridium difficile*. Illustration: Shutterstock.

Omvendt har forskerne også den hypotese, at de helt anderledes stoffer, som uønskede mikrober producerer, aktiverer de genvarianter, der kan føre til udvikling af en af de mange folkesygdomme.

»I det øjeblik, man ikke længere lever sundt, men glemmer at praktisere de officielle livstilsråd, aktiverer man den genetiske sårbarhed. Det vil sige, at hvis man er genetisk disponeret for Parkinsons, så udvikler man den sygdom, og hvis man er genetisk disponeret for fedme, tager man kraftigt på,« siger Oluf Borbye Pedersen. Han understreger, at det kun er en arbejdshypotese, som mange forskere for tiden forsøger at underbygge eller forkaste ved at foretage en række undersøgelser på mennesker, forsøgsdyr og celler.

Transplantation af afføring kurerer dødelig diarre

Når tarmmikrobiomet er i ubalance, fordi der er kommet en overrepræsentation af potentielt set skadelige mikrober, kan det komme til udtryk i form af sygdom. Det har gentagne forsøg vist.

Blandt andet har forsøg vist, at hvis man tager afføring fra mennesker, der har kronisk tarmbetændelse, fedme eller lider af autisme, skizofreni eller depression, og overfører den til mus eller rotter, der ikke har bakterier i tarmene,

vil forsøgsdyrene udvikle lignende sygdomsspecifikke træk. Det peger på, at ubalancer i tarmmikroberne og de molekyler, som de uønskede mikrober danner, kan bidrage til, at sygdommene opstår hos dyr med genetisk disposition, der minder

Egen afføring kan hjælpe til med at holde vægten nede

Ny forskning, der kun er få måneder gammel, viser, at autolog fækal transplantation, altså at en person får transplanteret sin egen afføring, kan hjælpe med til at fastholde et vægttab.

I forskningen blev svært overvægtige personer sat på en langvarig slanketur, som betød, at de tabte sig meget i vægt. Hen imod afslutningen af slankekuren udtog forskerne afføringsprøver fra forsøgspersonerne og lod så forsøgspersonerne spise, lige hvad de havde lyst til.

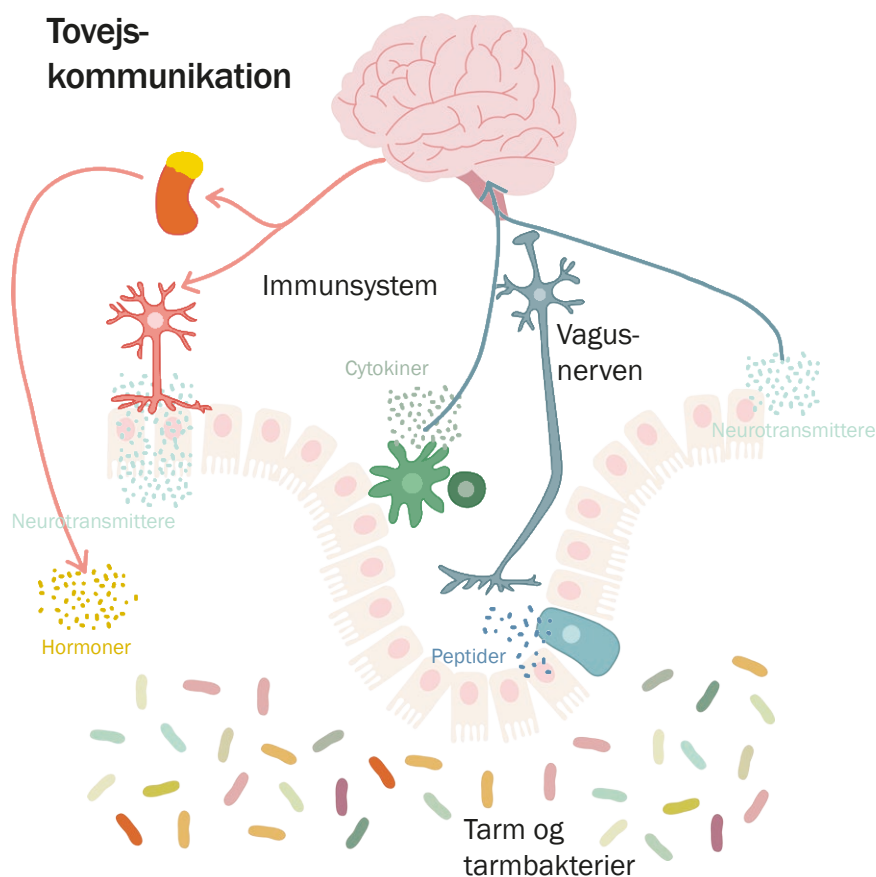
Efter afmagringskuren var afsluttet, transplanterede forskerne de gemte nedfrosne afføringsprøver tilbage i tarmen i halvdelen af forsøgspersonerne og observerede derefter, hvordan det gik. Forskningen viste meget interessant, at de personer, der havde fået transplanteret deres egen afføring, fra da de havde tabt sig mest, havde meget lettere ved at holde vægten nede i den efterfølgende tid.

Ifølge Oluf Borbye Pedersen tyder det på, at når først tarmmikrobiomet har ændret sig i retning af at producere gavnlige stoffer, kan det være med til at fastholde vægten.



Børn født ved kejsersnit går glip af nærkontakt med moderens mikrober fra vagina og endetarm sammenlignet med børn født normalt, og det giver disse kejserbørn en fattigere mikrobessammensætning i tarmene fra start. Det kan muligvis sætte sig varige spor i barnets immunkompetence. Foto: colourbox.

Tovejs-kommunikation



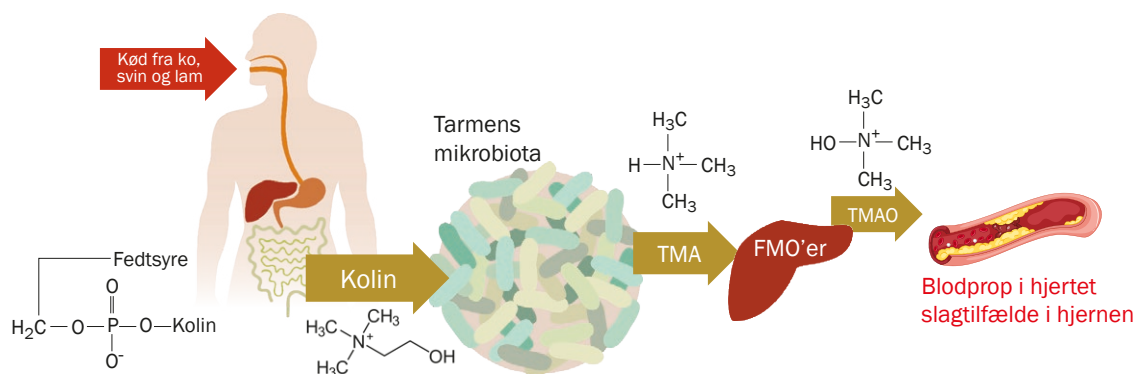
Der foregår en livlig tovejs-kommunikation mellem tarmbakterierne og hjernen i den menneskelige organisme. Fra tarmen til hjernen sendes besked ved hjælp af signalmolekyler kaldet cytokiner eller gennem vagusnerven og neurotransmittere. Kommunikationen fra hjernen til tarmbakterierne foregår gennem binyrebark-hormoner eller via aktivering af det selvstyrende nervesystem.

om den genetiske disposition for de folkesygdomme, vi ser hos mennesker.

Omvendt kan afføring fra et sundt menneske også være decideret sundhedsfremmende. Tag som eksempel livstruende kronisk diarre med bakterien *Clostridium difficile*.

I årtier har forskere forsøgt at behandle sygdommen med gentagne antibiotikakure uden held, men én ting har vist sig som en meget potent behandling, og det er fækal transplantation. Konceptet er meget simpelt. Lægen tager afføring fra en rask donor og anbringer det i tarmen på den sygdomsramte. Det har vist sig at kunne kurere ni ud af 10 inficerede.

»Fækal transplantation er en rigtig solstrålehistorie, som også viser, hvor meget magt mikroberne har. Mikroberne har en ufattelig stor magt. Det gælder både de sygdomsfremkaldende og de mutualistiske, som mere og mere forskning peger på har magten til at holde os raske eller gøre os raske, når andre mikrober har gjort os syge,« siger Oluf Borbye Pedersen.



Kød fra firbenede dyr indeholder stoffer, som bestemte tarmbakteriearter omdanner til molekyler, der øger risiko for åreforkalkning. Dette er en af de virkningsmekanismer, hvorigennem sammensætningen af tarmbakterier påvirker vores helbred. Forkortelser: TMA er trimetylamin, FMO er flavin-containing monooxygenase og TMAO står for trimetylamin-N-oxid.

Børn født ved kejsersnit mangler bakterier i tarmene

Som voksen er der alt mulig god grund til at tage sig godt af sine mikrober, men faktisk bliver sammensætningen af tarmmikrobiomet for en stor dels vedkommende allerede bestemt meget tidligere i livet.

Indtil for ganske få år siden var forskere af den overbevisning, at en kvindes underliv er sterilt. Det gælder blandt andet æggelederne og livmoderen, som læger og forskere formodede var helt og aldeles mikrobefri. På det seneste er man blevet i tvivl om, hvorvidt den antagelse holder.

Spritny forskning peger i retning af, at der findes forskellige slags ufarlige bakterier i både æggeledere, livmoderen og vagina. Hvis de forskningsresultater bliver bekræftet i uafhængige undersøgelser, betyder det, at fra det øjeblik, hvor ægget og sædcellen møder hinanden i kvindens æggeleder, er de omgivet af ikke bare bakterier, men også de hundredvis af stoffer fra bakterierne kemifabrikker. Det er noget nær utænkeligt, at alle de stoffer ikke på en eller anden måde har en indflydelse på tilblivelsen af det lille nye liv.

Barnet er dog langt fra færdig med at komme i kontakt med mikrober. Når et barn bliver født naturligt, kommer det først i kontakt med alle de mange hundrede forskellige mikrober, som findes i mors vagina. Derefter stifter det bekendtskab med bakterierne i hendes ende-

tarm. Ved en naturlig fødsel bliver barnet født med ansigtet mod mors endetarmsåbning, og både mikrober fra vagina og endetarmen kommer uundgåeligt i barnets ansigt og mund og bliver til en del af barnets egne mikrobefund på for eksempel hud, i munden og i tarmene.

Hvis barnet bliver født ved kejsersnit, kommer det til at få en smallere og fattigere mikrobefund især i tarmene, og kejserbørn har samtidig øget risiko for at udvikle astma, allergi, leukæmi, bindevævs sygdomme og tarmsygdomme.

»Meget tyder på, at mikroberne i tarmene er med til at udanne kroppens immunforsvar, så det kan skelne mellem venner og fjender. Mikroberne fra dette meget tidlige tidspunkt i livet er formentlig med til at sætte varige aftryk i barnets immunkompetence, og det har yderligere betydning for udviklingen af spædbarnets hjerne og stofskifte,« forklarer Oluf Borbye Pedersen.

Modermælken er immunforsvarets diamantmine

Efter fødslen er barnet dog slet ikke færdig med at udvikle sit eget unikke mikrobefund. Også modermælken er fyldt med gavnlige bakterier, virus og svampe. Hvordan de opkoncentreres i mælkekirtlerne, ved forskerne ikke, men en hypotese, som er under udforskning, går ud på, at nogle af mikroberne stammer fra tarmen, og at de eskorteres af immunceller via lymfesystemet eller blodet til brystkirtlerne.

»Modermælken er en diamantmine, når det gælder menneskets udvikling. Tidligere blev modermælken betragtet som steril, men den har vist sig at indeholde en hel masse bakterier, virus og svampe, der sætter et varigt sundhedsfremmende aftryk i spædbarnets immunberedskab,« siger Oluf Borbye Pedersen.

Specielt de første leveår er enormt vigtige for udviklingen af et sundt mikrobefund. Her gælder det om at komme i kontakt med så mange af de gavnlige mikrober som muligt, så de kan etablere sig i blandt andet tarmene. Det vil også sige, at hvis forældre holder deres barns omgivelser halvsterile, kommer børnene ikke i kontakt med de mikrober, der kan holde dem sunde og raske hele livet. Af samme grund ser man, at børn, der vokser op på landet med både husdyr, møg og masser af jord, i langt mindre grad udvikler eksempelvis astma og allergi sammenlignet med bybørn. Deres immunforsvar har nemlig lært, hvad det skal reagere på, og hvad det bare skal lade være i fred.

»Tarmmikrobiomets sammensætning er resultatet af alt det, som vi kommer i kontakt med som børn, og hvordan vi lever som voksne. Derudover har vi formentlig en genetisk disposition for, hvad vi vil tillade at have levende i og på os. Samlet set bliver det til en økologisk sameksistens, som vi kan drage meget stor fordel af, hvis vi gennem hele livet passer lige så godt på vores meget aktive livsledsagere, som de passer på os,« fortæller Oluf Borbye Pedersen. ■

De lyshungrende spirer, der bøjer sig mod lyset, illustrerer med al tydelighed, hvorfor det for mange planter gælder om at nå højst op og få uhindret adgang til det livgivende lys.

Foto: Shutterstock



PLANTERS HEMMELIGE LIV I SKYGGEN AF ANDRE

Om forfatteren
Af Kristian Sjøgren,
videnskabsjournalist.
ksjoegren@gmail.com

Planter kan ikke bevæge sig ud i sollyset, når andre skygger for dem, så de må i stedet vokse opad i et forsøg på at nå Solens stråler. Dansk forskning viser, hvad der sker på det genetiske niveau, når planter forsøger at undslippe et liv i skyggen af andre.

For planter er én ting vigtige end alt andet, og det er lyset fra Solen. Solens lys er grundlaget for fotosyntesen, hvor planter omdanner sollys og vand til vækst. Hvis ikke planter får den mængde sol, som de skal bruge, vokser de ikke, og vokser planterne ikke, er der ikke noget at spise for dyrene. Det er ikke svært at forestille sig, hvordan verden ville se ud, hvis ikke Solen kastede sit livgivende lys på klodens planter.

Det er dog ikke altid lige let for planter at få adgang til sollys. Kampen om sollyset er for planter lige så voldsom og brutal som kampen mellem løver og gazeller på savannen. Det drejer sig om at kvæle de andre planter ved at tage sollyset

fra dem eller prøve at undslippe de planter, der vil beholde sollyset for sig selv ved at være højest og størst.

For planter, der i modsætning til dyr ikke kan bevæge sig, er der kun én mulighed, når det kommer til at undslippe andres skygge, og det er at vokse opad – højere og højere – indtil Solens stråler igen falder på bladene.

Umiddelbart lyder det meget simpelt, men på det genetiske niveau sker der hundredvis af mikroskopiske justeringer i molekylærbio-logiske signalveje, og det sender planten opad i raket fart. Danske forskere har inden for de seneste år løftet en smule af sløret for, hvordan planterne genetisk gør

det, og den viden kan fremadrettet benyttes til bedre at forstå planters liv i skyggen i andre. Indsigten kan også have praktiske implikationer inden for eksempelvis afgrødedyrkning.

»For langt de fleste planter gælder det, at de ikke vokser alene, men sammen med andre. Derfor er der konstant kamp om adgang til sollyset, men vi har ikke før nu haft en god forståelse af, hvordan planter genetisk reagerer på at være i skyggen. I vores forskning er vi kommet tættere på en forståelse af, hvordan planter tilpasser deres genetik, så de lettere kan søge efter lys uden for andre planters skygge,« fortæller lektor Stephan Wenkel fra Sektion for Plantebiokemi ved Københavns Universitet.



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

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

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



Rødt lys får planter til at gå i panik og vokse hurtigere

Når planter skal ud af andre planters skygge, sætter de alle ressourcer ind på at vokse opad, og det har indflydelse på deres generelle morfologi. Mange haveejere har måske set, hvordan nogle planter, der er i tæt konkurrence med andre om sollyset, vokser sig højere og mere spinkle, end de ellers ville.

»Sådan er det selvfølgelig ikke for alle planter. Der findes jo som eksempel masser af plantearter i skovbunden i junglen, og de har tilpasset sig til et liv i skyggen af andre. Men rigtig mange planter er afhængige af direkte sollys, og for dem er det en katastrofe, hvis andre planter permanent blokerer for dem,« forklarer Stephan Wenkel.

Når forskere skal studere de solhungrende planter i laboratoriet, gør de meget simpelt det, at de lader nogle planter vokse i hvidt lys, hvilket modsvarer det at bade i Solens stråler. Andre lader de vokse

i rødt lys med over 700 nm i bølglængde. Det svarer i lysintensitet til at vokse i skyggen af andre planter.

Efterfølgende kan forskerne observere, hvordan de forskellige lysforhold har en helt klar effekt på planternes vækst. Planterne i hvidt lys vokser som deres modstykker ude på marken, mens planter i det røde lys sætter turbo på væksten og vokser sig højere og højere, fordi de tror, at andre skygger for dem.

»Som reaktion på skygge udløser planter en kompleks vækstreaktion for at udkoncurrere rivaliserende planter. Vi ved en hel del om de signaleringskaskader, der medieres af fotoreceptorer, og om de fysiologiske reaktioner, der forekommer på celleniveau. Men vi ved til gengæld ikke meget om de reaktioner, der forekommer i specifikke væv. I dette forsøg har vi undersøgt, hvilken rolle bestemte transkriptionsfaktorer har for væksten af planten *Arabidopsis*,« forklarer Stephan Wenkel.

Transkriptionsfaktorer er proteiner, der binder til og regulerer udtrykket af givne gener. Transkriptionsfaktorerne kan binde til et gen og sørge for, at det bliver udtrykt eller det modsatte, altså slukke for genet. På den måde kan celler sagtens indeholde en masse gener for både det ene og det andet, men de kommer aldrig til udtryk, med mindre transkriptionsfaktorerne tillader det.

Stephan Wenkel og ph.d.-studerende Maurizio Chiurazzi diskuterer forskningsarbejdet i laboratoriets vækstkammer.

Foto: Stephan Wenkel.



Spirer af dild-planter, hvor spiren til venstre er groet i hvidt lys, mens den til højre er groet i rødt lys svarende til skygge.

Foto: Stephan Wenkel.



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Et kig i forskernes værktøjskasse

Når forskere skal blive klogere på, hvordan planter tilpasser sig forskellige forhold i miljøet, benytter de sig blandt andet af en teknik kaldet ChIP_seq, der står for "chromatin immunoprecipitation (ChIP) followed by next-generation sequencing (seq)".

ChIP_seq går meget simpelt ud på at afsløre, hvor på genomet eksempelvis transkriptionsfaktorer binder. På den måde kan forskere identificere, hvilke gener blandt andet REVOLUTA og KANADI1 regulerer som et respons på, at en plante befinder sig i skygge.

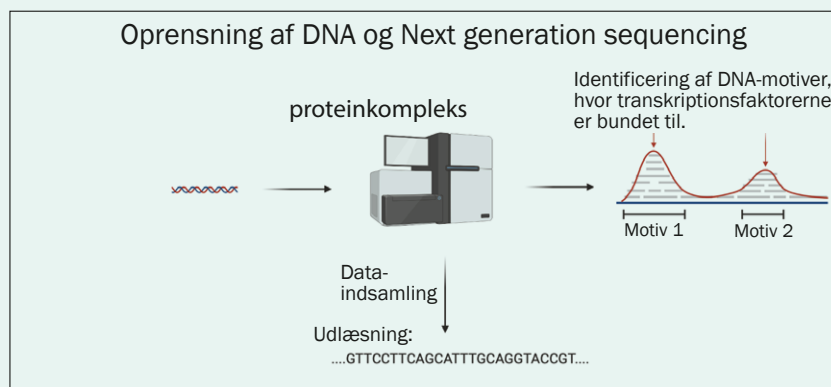
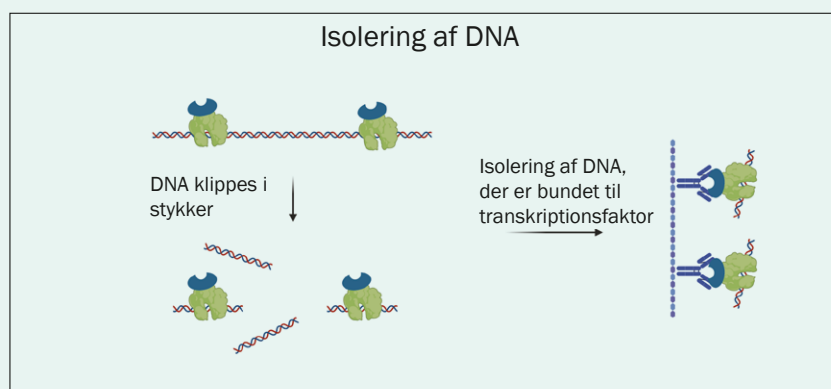
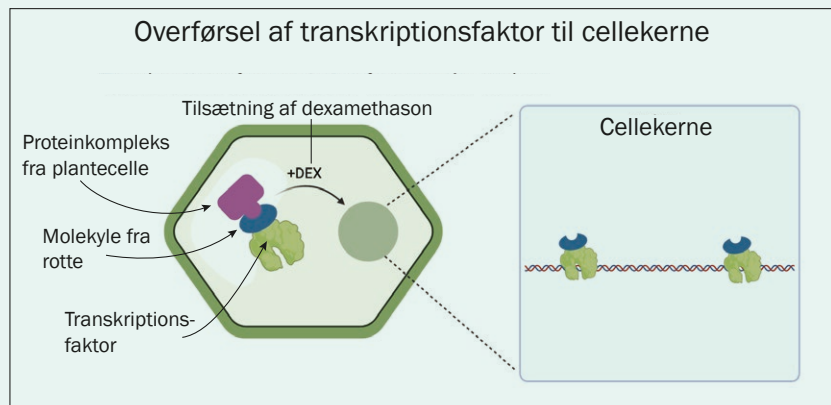
I forskningen har Stephan Wenkel med sine kollegaer lavet transgene planter, hvori de har modificeret planternes gener, så de overudtrykker REVOLUTA og KANADI1. Derudover har forskerne koblet transkriptionsfaktorerne til et molekyle fra rotter (en receptor for glukokortikoid hormoner), som gør, at transkriptionsfaktorerne bliver i plantecellerne cytoplasma og ikke kan komme ind i cellekernen. Når transkriptionsfaktorerne ikke kan komme ind i cellekernen, kan de heller ikke udøve en effekt på generne.

Koblingen mellem glukokortikoid-receptorerne og transkriptionsfaktorerne kan dog brydes, når forskerne sprøjter planterne med glukokortikoid-lægemidlet dexamethason. Derved bliver transkriptionsfaktorerne frigivet, så de kan komme ind i cytoplasmaet og have en effekt.

Forskerne kan benytte teknikken til meget nøjagtigt at afdække, hvilke gener der er under indflydelse af transkriptionsfaktorerne.

Først lader forskerne planterne vokse som normalt. Derefter sprøjter de dexamethason på dem for at få transkriptionsfaktorerne til at sætte sig på DNA'et. Efterfølgende udsætter de planterne for formaldehyd, hvilket fikserer transkriptionsfaktorerne på DNA'et.

Til sidst, men ikke mindst, hugger forskeren DNA'et i meget små styk-



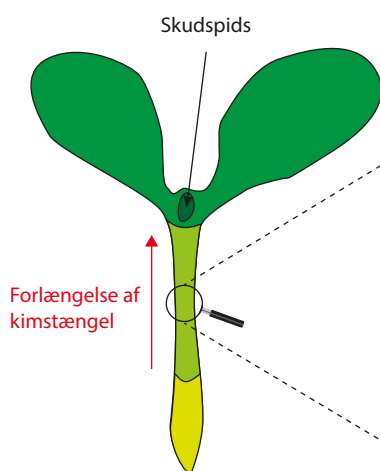
Figurene illustrerer de principielle trin i teknikken ChIP seq. Illustration: Stephan Wenkel/BioRender

ker. Stumperne af DNA vil så enten have transkriptionsfaktorer påsat eller ej. Forskerne kan isolere de stumper af DNA, som har transkriptionsfaktorer påsat, og derefter sekventere DNA-stumperne. På den måde kan de se, hvilke gener transkriptionsfaktorerne sidder fast på og dermed aktiverer. Forskerne kan endda identificere de specifikke genetiske byggesten i arvemassen, som transkriptionsfaktorerne benytter til at binde fast til DNA'et.

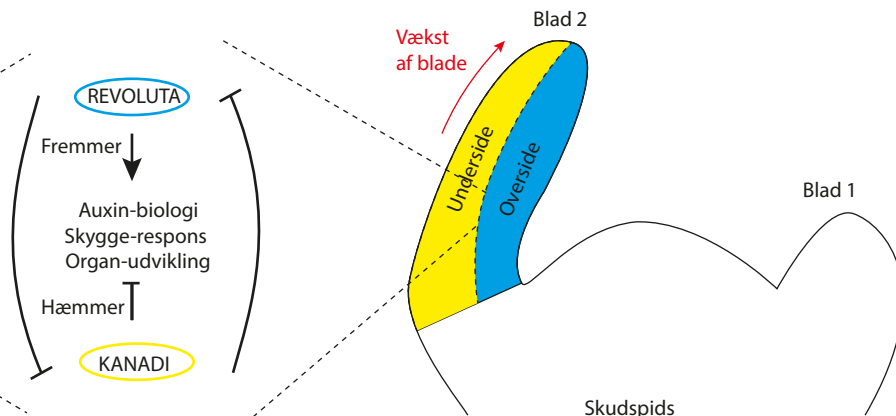
Denne dybdegående forståelse af koblingen mellem transkriptionsfaktorer og arvemasse kan forskere

udnytte til at både at lave mere præcise eksperimenter og designe eksempelvis nye afgrøder. Som eksempel kan en transkriptionsfaktor regulere både generne A, B og C. Det vil sige, at hvis man vil slukke for genet B og piller ved den relevante transkriptionsfaktor, vil man også slukke for generne A og C. Men ved at kende til den præcise binding mellem transkriptionsfaktoren og generne A, B og C skal forskerne kun ændre en lille smule i den genetiske sekvens for at få transkriptionsfaktoren til ikke at kunne binde til B, mens den samtidig kan binde til A og C.

Skygge



Udviklingsmæssige signaler



Vækstfaktorerne REVOLUTA og KANADI1 spiller en vigtig rolle som regulatorer af planters skyggerespons og bladudvikling. Begge faktorer udtrykkes i både i planternes anlæg til stængel og blade (kimstængel og kimblade). Proteinerne vil her udtrykkes i et polært mønster, således at REVOLUTA udtrykkes i bladets overside og KANADI1 i undersiden.

Begge vækstfaktorer regulerer det samme sæt af gener, men med modsatrettet effekt: REVOLUTA virker således aktiverende på generne, mens KANADI1 hæmmer, at generne kommer til udtryk. Auxin-biologi refererer her til plantehormonet auxin og de processer, det er involveret i vedrørende udvikling af både blade og de celler, som opbygger stænglen.

Kilde: *Current Opinion in Plant Biology*, vol. 35, pp 111-116.

Transkriptionsfaktorer regulerer planters vækst under skyggeforhold

I forskningen har Stephan Wenkel med sine kollegaer studeret, hvordan transkriptionsfaktorerne REVOLUTA og KANADI1 regulerer gener med relevans for plantens reaktion til det at være i skyggen. REVOLUTA og KANADI1 er kendt for at være relevante for dannelsen af forskellige strukturer i blade.

Helt specifikt har forskerne i deres forøg gjort det, at de har lavet mutanter af *Arabidopsis* med mutationer i de to nævnte transkriptionsfaktorer. Efterfølgende har de undersøgt, hvordan planterne opfører sig under forskellige lysforhold.

»Vores forsøg viste for det første, at planter med mutationer i REVOLUTA og KANADI1 havde et svagere skyggerespons hvilket betød, at de i rødt lys ikke voksede så

meget som vildtyperne,« fortæller Stephan Wenkel.

Ydermere undersøgte forskerne de morfologiske ændringer i planterne, når transkriptionsfaktorerne var aktive i tilfælde af skygge. Transkriptionsfaktorerne er i blade involveret i dannelsen af vandtransporterende rør, der fungerer ligesom blodårer i mennesker. I planter hedder det karvæv eller xylem.

I forskningen fandt Stephan Wenkel med sine kollegaer ud af, at samme mekanisme også er vigtig i plantens skyggerespons. Helt specifikt sker der det, at når planter er udsat for skygge, begynder de at producere mere karvæv i deres stilke, hvilket sender planterne i vejret. Forskerne gjorde meget simpelt det, at de lod planter vokse i rødt og hvidt lys, og derefter skar de dem i småstykker for at undersøge forskelle i mængden af dannet karvæv.

»Vildtypeplanter begynder at producere mere karvæv, når de bliver udsat for rødt lys sammenlignet med hvidt lys. Men vi så ikke det samme i mutanterne, der ikke længere var i stand til at øge produktionen af karvæv, fordi de var blevet muteret i de relevante transkriptionsfaktorer. Det havde gjort deres skyggerespons mere svagt,« forklarer Stephan Wenkel.

En fordel at bremse skyggerespons i afgrødeplanter

Opdagelsen af planternes genetiske respons på at være i skygge kan være relevant inden for eksempelvis landbruget.

Mange afgrødeplanter er skyggesensitive og vil sætte fart under væksten af deres stilke og stængler, hvis de bliver udsat for skygge. Det lyder måske umiddelbart attraktivt, men problemet i den sammenhæng er, at når planterne investerer i vækst af stænglerne, har de færre ressourcer til at investere i produkti-



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Historien om den lille ninja

Stephan Wenkels forskning har kastet flere interessante opdagelser af sig. Blandt andet har forskeren identificeret et mikroProtein, der regulerer, hvor høje planter, herunder afgrødeplanter, kan blive.

MikroProteinet hedder LITTLE NINJA, og forskerne fandt det, da de ledte vidt og bredt efter mikroProteiner i den modelplante, som hedder *Brachypodium*. I forskningen brugte forskerne enorme computerkræfter til at gå hele *Brachypodiums* genom igennem med en tættekam for at se, om de kunne finde DNA-stumper, der kunne identificeres som forkortede sekvenser af allerede kendte proteiner. Her stødte de på LITTLE NINJA.

LITTLE NINJA findes i græsser, og da forskerne undersøgte effekten af mikroProteinet, fandt de, at det regulerer jasmonsyre-hormonsignalvejen. Når forskerne skruer op for LITTLE NINJA i ris og byg, bliver græsserne lavere og mere buskede med flere af de sideskud, som kornene vokser på. De bliver med andre ord mere produktive. Samtidig bliver græsserne mere modstandsdygtige over for vind og vejr, når de bliver lavere og mere buskede. Da LITTLE NINJA spiller ind i hormonsig-



Risplanten til venstre har et naturligt niveau af LITTLE NINJA, mens niveauet i risplanten til højre er forhøjet. Foto: Københavns Universitet.

naleringen i planter, har mikroProteinet også betydning for planternes blomster og rodnet.

Stephan Wenkel tror på, at man kan bruge viden om blandt andet LITTLE NINJA til at gå på jagt efter andre store proteiner i arvemassen og manipulere dem til mikroProteiner med muligvis interessante effekter på planter i form af nye eller forstærkede biologiske funktioner.

onen af eksempelvis korn og frugter. Det betyder, at udbyttet falder, hvis planterne skygger for hinanden.

Kan man justere afgrødeplanter skyggespons, kan man dog sikre sig, at de ikke bare vokser og vokser på bekostning af landmandens udbytte

»Det vil være effektivt for landbruget at have afgrødeplanter, der ikke har så kraftigt et skyggespons. Men man kan ikke bare mutere generne, for det kan gå ud over hele plantens vækst. Men ved at afkoble de gener, som transkriptionsfaktorerne regulerer i forbindelse med skyggesponsen, kan det være muligt at etablere en mindre effekt af at vokse i skygge,« siger Stephan Wenkel.

MikroProteiner regulerer transkriptionsfaktorerne

Det næste skridt i Stephan Wenkels forskning er ikke bare at forstå, hvordan REVOLUTA og

KANADI1 regulerer vækstgenerne, men også at forstå, hvordan REVOLUTA og KANADI1 i sig selv bliver reguleret.

I den sammenhæng spiller såkaldte mikroProteiner en stor rolle.

MikroProteiner er små, korte proteiner, der evolutionært stammer fra meget større proteiner. Nogle gange sker der det i eksempelvis en plantes arvemasse, at genet for et stort protein bliver duplikeret i genomet. Det giver planten et ekstra gen for et givent protein at eksperimentere med i forsøget på hele tiden at blive bedre og bedre tilpasset til det miljø, som planten lever i.

Evolutionært kan der opstå situationer, som gør det relevant for planten blot at bevare genet for en lille stump af det store protein i stedet for hele proteinet. Organismen indeholder derefter både det oprindelige store protein og et

ekstra mikroProtein.

MikroProteiner kan have forskellige funktioner, der hænger sammen med funktionen af det oprindelige store protein. Eksempelvis kan funktionen af det store protein være livsnødvendigt for organismen, men det kræver, at proteinet binder sammen i par. I det tilfælde kan et mikroProtein binde til det store protein og fungere som en regulator af dets effekt.

»MikroProteinerne kan eksempelvis fungere som bremser på de store proteiner, så effekten af proteinerne bliver holdt inden for de gavnlige niveauer,« forklarer Stephan Wenkel.

Når det gælder reguleringen af REVOLUTA, viser Stephan Wenkels forskning, at de to transkriptionsfaktorer er selvregulerende.

REVOLUTA regulerer ikke bare ét gen men mange gener, og nogle

af disse gener er ansvarlige for produktionen af mikroProteiner, der regulerer REVOLUTA selv. Det betyder, at når REVOLUTA sætter gang i hele organismens produktionsapparat som reaktion på at være i skygge, sætter transkriptionsfaktoren også gang i produktionen af mikroProteiner, som efter noget tid vil lukke ned for transkriptionsfaktoren selv, så planten ikke bare bliver ved med at vokse og vokse.

»Når en plante bliver udsat for skygge, vil den inden for få minutter aktivere eller deaktivere flere hundrede gener. Blandt generne er nogle, som er involveret i at gøre planternes stængler længere, men ud over det er der også ændringer i niveauerne af forskellige regulatoriske mikroProteiner, som står bag hele plantens skyggespons. Den viden kan udnyttes bioteknologisk til at udvikle planter, der er mere modstandsdygtige over for ændringer i de miljømæssige lysforhold,« forklarer Stephan Wenkel. ■

Om Stephan Wenkel

Stephan Wenkel er lektor i plantebiologi ved Institut for Plante- og Miljøvidenskab ved Københavns Universitet. Han er oprindeligt uddannet fra universitetet i Würzburg og lavede sin ph.d.-afhandling ved Max-Planck Institute for Plant Breeding Research samt universitet i Köln. Han arbejdede efterfølgende som postdoc ved Carnegie Institution for Science ved Stanford University, inden han blev forskningsgruppeleder ved universitetet i Tübingen. Siden 2014 har han været ansat ved Københavns Universitet.



Stephan Wenkels primære forskningsinteresser er inden for plantetilpasning og evolutionen bag regulatoriske molekyler. Hans forskningsområder har blandt andet kastet ny viden om mikroProteiner, og hvordan man kan bruge mikroProteiner til at optimere afgrødeplanter, af sig. Forskningsgen, som er beskrevet i denne artikel, er finansieret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers.

Foruden sin egen forskning er Stephan Wenkel bestyrelsesmedlem på Journal of Integrative Plant Biology. Han er derudover reviewer på flere andre videnskabelige tidsskrifter, herunder Nature Plants, PLoS Genetics og Current Biology. Stephan Wenkel har haft 12 ph.d.-studerende og syv postdoc under sine vinger.

Videre læsning:
Artiklen fra DFF-projektet: Botterweg-Paredes E, Blaakmeer A, Hong SY, Sun B, Mineri L, Kruusvee V, Xie Y, Straub D, Menard D, Pesquet E and Wenkel S: Light affects tissue patterning of the hypocotyl in the shade-avoidance response. PLoS Genetics 6(3):e1008678, 2020.

Om LITTLE NINJA: Hong SY, Sun B, Straub D, Blaakmeer A, Mineri L, Koch J, Brinch-Pedersen H, Holme IB, Burrow M, Jørgensen HJL, Albà MM and Wenkel S.: Heterologous microProtein expression identifies LITTLE NINJA, a dominant regulator of jasmonic acid signaling. PNAS 117(42):26197-26205, 2020.

Reviewartikel om micro-Proteins: Eguen T, Straub D, Graeff M, Wenkel S.: MicroProteins: small size - big impact.: Trends in Plant Science 20(8):477-82, 2015.



sdu.dk/ing #sduing

Mangler du indspark til din undervisning

Oplæg og workshops for gymnasieklasser

Ingeniøruddannelserne på SDU tilbyder flere spændende oplæg og workshops, der kan bookes både fysisk og online. Blandt andet har vi den nye workshop Sundhed gennem teknologi. I denne workshop arbejder deltagerne som sundheds- og velfærdsingeniører, med konceptudvikling af sundhedsfremmende løsninger til personer med forskellige sundhedsmæssige udfordringer.

Ved afholdelse af oplæg og workshops er det vores dygtige studenterambassadører som tager sig godt af dine elever, og har du særlige ønsker til indholdet, så arbejder vi sammen om at få det med.

Eksempler på andre oplæg og workshops tilbud:

- Matematik i Robotter
- Energiteknologier til grøn omstilling
- Business-modeller som vækstgenerator
- Idégenerering og iværksætter
- TEK Expo
- Kodecaféer

Find og bestil vores oplæg og workshops her
www.sdu.dk/tek/undervisningstilbud

Strandeng og saltmarsk på Stige Ø i Odense Fjord. Foto: Jeppe Najbjerg Hansen

Forfatterne



Jeppe Najbjerg Hansen er videnskabelig assistent ved Biologisk Institut, Syddansk Universitet. Han arbejder med kulstoftilbageholdelse og (gen)etablering af danske saltmarsker. jeppehansen@biology.sdu.dk



Anna Elizabeth Løvgren Graversen er videnskabelig assistent ved institut for Bioscience, Aarhus Universitet. Hun arbejder primært med kulstoftilbageholdelsen i danske saltmarsker og hvilke faktorer, som kan påvirke størrelsen heraf. au513721@au.dk



Dorte Krause-Jensen er professor ved institut for Bioscience, Aarhus Universitet. Hun arbejder primært med ålegræssenges og tangskoves økologi, den marine vegetations respons på miljøforhold og presfaktorer samt beskyttelse og retablering af marin vegetationen som naturbaserede løsninger. dkj@bios.au.dk



Gary Thomas Banta er institutleder ved Biologisk Institut, Syddansk Universitet. Han arbejder bredt med kystnær og bentisk økosystemsøkologi. Har særlig fokus på sammenhæng mellem økologisk struktur, funktion og økosystemtjenester. banta@biology.sdu.dk

STRANDENGE

– en overset klimabuffer



Strandenge – såkaldt saltmarsk - er effektive kulstofdræn, og derfor kan omlægning af lavbundsjord langs danske kyster til saltmarsk reducere den danske CO₂-udledning. Samtidig fungerer saltmarsker som naturlige kystværn og er gode for biodiversiteten.

Med Danmarks ambitiøse mål om en reduktion af CO₂ udledningen på 19 millioner tons i 2030 skal der tænkes i nye måder både at mindske udledningen og øge langtidsoplagringen af kulstof. Et af de værktøjer, som er taget i brug, er at udtage organisk rige lavbundslande af drift. Politisk er der frem til 2030 afsat midler til at udtage 20.000 hektar organiske jorde, hvor dræning og anden aktivitet skal indstilles – med en forventet reduktion på 0,27 millioner tons CO₂-ækvivalenter om året i 2030 som følge af reduceret nedbrydning af organisk stof. Disse lavbundslande ligger fortrinsvis indlands. Det betyder, at der overses et kæmpe potentiale for udtagning af

jord langs den cirka 7300 km lange danske kystlinje.

Der findes nemlig kystnære lavbundslande, som kunne fungere som klimabuffer ved at blive omlagt til såkaldte saltmarsker i tillæg til de lavbundslande, som allerede er udvalgt til omlægning som vådområder. Saltmarsker er her en fællesbetegnelse for lavtliggende vegetationsdækkede områder, som jævnligt oversvømmes af saltvand, såsom rørsumpe, strandenge og vadegræssamfund.

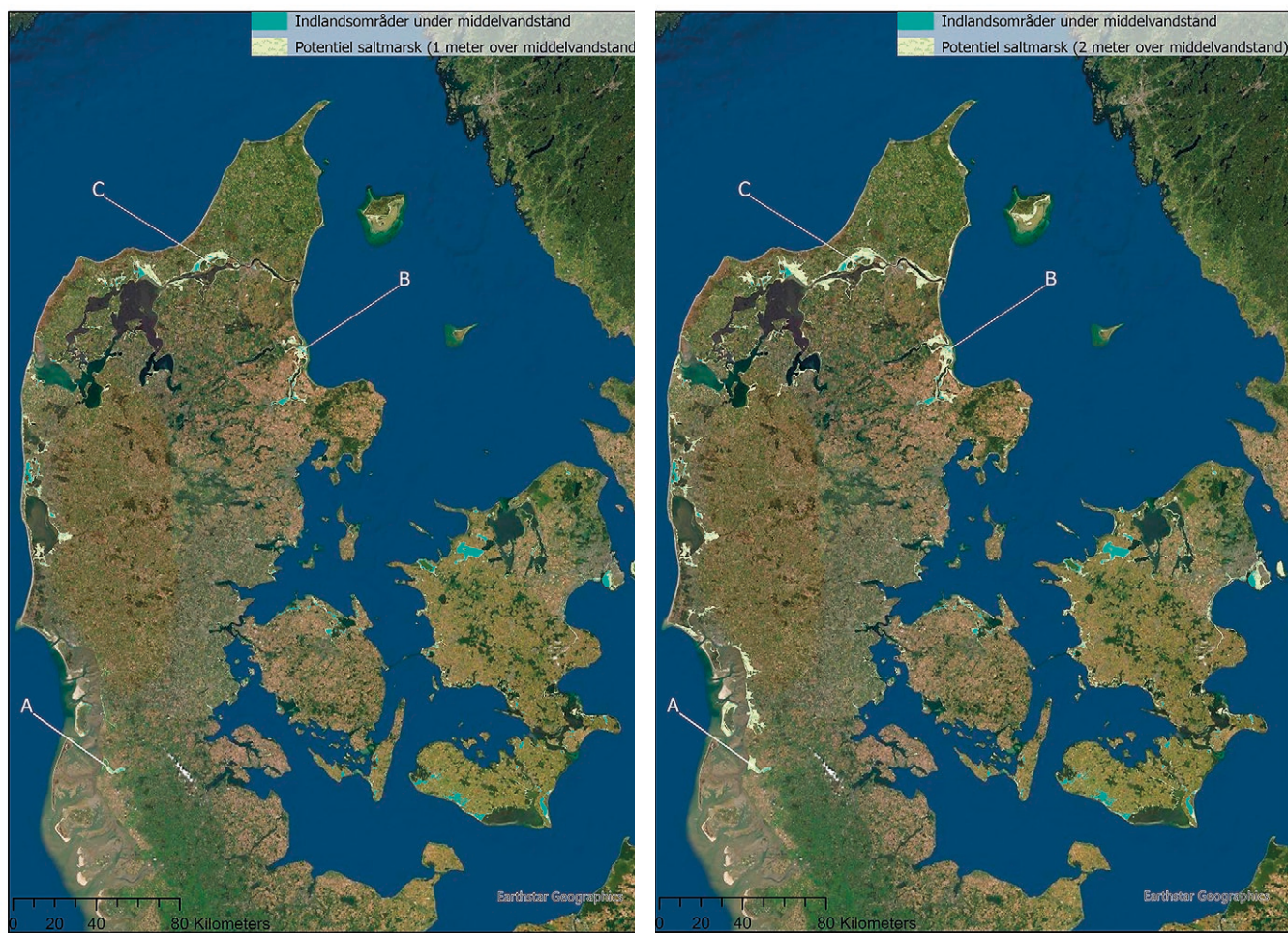
Danmark som saltmarsk-nation

Saltmarsker er interessante, fordi de har betydelig evne til at optage, akkumulere og oplagre kulstof, selv

på organisk fattige jorde, og samtidig bidrager de til kystsikring og biodiversitet.

Projektet *Blå Skove*, støttet af Veluxfonden, har siden efteråret 2019 arbejdet med at kvantificere danske saltmarskers og ålegræssenges potentiale som klimabuffer. I projektet har vi indsamlet viden om saltmarskers kulstoftilbageholdelse. Det kan sammen med et estimat af saltmarskens potentielle udbredelse bidrage til at svare på spørgsmålet: Hvordan kan genetablering af saltmarsk bidrage til at forbedre Danmarks CO₂-regnskab?

I Danmark findes der cirka 41.000 hektar saltmarsk, men potentialet



Figur 1. Kort over de potentielle saltmarsker (markeret med lysegrønt), som strækker sig henholdsvis 1 meter (tv) og 2 meter (th) over middelvandstand. Potentielt oversvømmede områder er vist med turkis og ligger enten under havets overflade eller på samme niveau som middelvandstand. De potentielt oversvømmede områder er oftest inddæmmede områder og dækker over cirka 40.000 hektar. Det potentielle saltmarsksområde er 70.499 - 142.000 hektar. Bemærk, at kortet ikke tager højde for infrastruktur, og at der kan forekomme mindre overlap med søer og vandløb.

er langt større, da vi historisk set har haft stor udbredelse af saltmarsk, som er blevet inddiget og drænet til landbrugsjord eller anden infrastruktur. Ved at bruge kort over lavbundslande og højdedata langs den danske kystlinje har Blå Skove identificeret 71.000-142.000 hektar potentielle saltmarsk-områ-

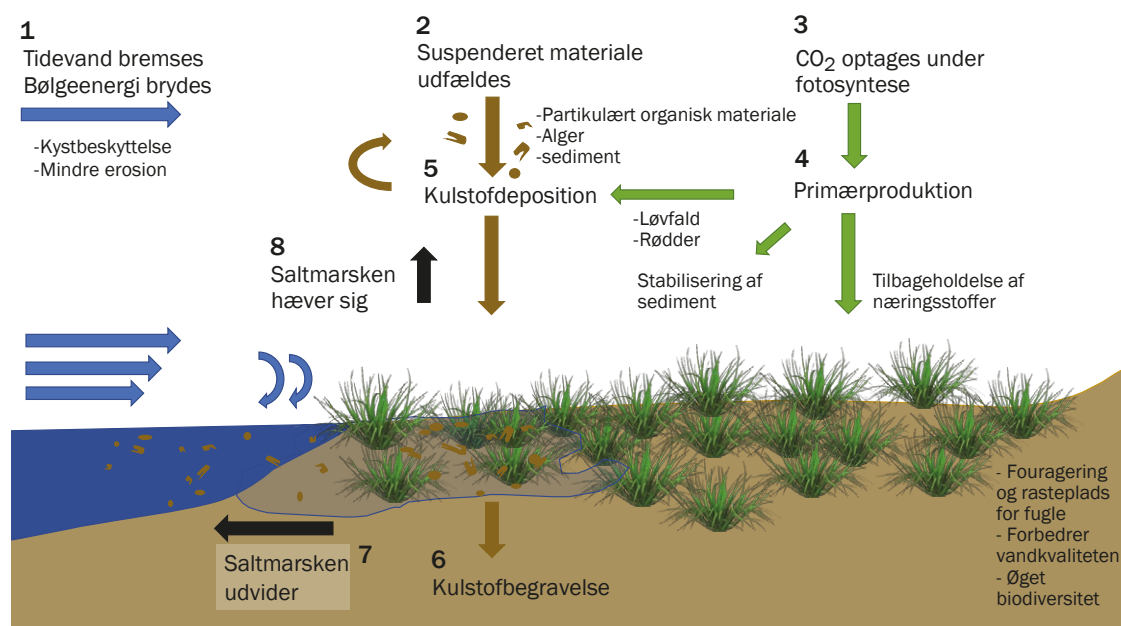
der (se figur 1). Dette tal inkluderer de 41.000 hektar, som allerede er saltmarsk i Danmark.

Hvis alle 142.000 hektar blev omlagt til saltmarsk, ville det skønsmæssigt tilbageholde 0,044 - 0,73 millioner tons CO₂-ækvivalenter om året.

Derudover vil beskyttelse og vedligeholdelse af de eksisterende 41.000 hektar saltmarsker sikre deres allerede opbyggede, store kulstoflager og årlige kulstoftilbageholdelse. Vi skønner, at kulstoflageret her udgør 6 - 23,9 millioner tons CO₂-ækvivalenter i den øvre knap halve meter af jordbunden

Saltmarsk højde (meter over middelvandstand)	Areal (hektar)	Potentiel kulstof-akkumulering Millioner tons CO ₂ / år	Kilder for kulstofdata
1	70944	0,044 - 0,36	Graversen 2018, suppleret med upublicerede data fra Blå Skove.
2	142099	0,085 - 0,73	Graversen 2018, suppleret med upublicerede data fra Blå Skove.

En kort opsummering over den potentielle saltmarsk udbredelse og kulstofakkumulering alt efter saltmarskens evne til at brede sig hhv. 1 eller 2 meter op over middelvandstand. Tabellen angiver ligeledes de kilder, som ligger til grund for minimale og maksimale kulstof-akkumuleringer. Der er ikke taget højde for fulde klimagasbudgetter, som vil blive kvantificeret under det nystartede EU/Biodiversa projekt NordSalt.



Figur 2. Illustration af de overordnede processer, som gør saltmarsken til et kulstofdræn. Tallene angiver læseordenen. Bemærk nederste højre hjørne, hvor yderligere økosystemtjenester er nævnt.

under marsken samt en kulstofbegravelse i størrelsesordenen 0,05 – 0,20 millioner tons CO₂-ækvivalenter om året.

Et produktivt økosystem og et effektivt kulstoflager

Den effektive lagring af kulstof skyldes den periodiske oversvømmelse med saltvand. Når tidevandet jævnlgt oversvømmer saltmarskerne, sænkes vandhastigheden gennem det netværk af blade og stængler, som den salttolerante vegetation skaber. Denne dæmpning af bølgeenergien giver en øget udfældning af organisk materiale fra tilførte partikler, for eksempel alger, og sediment på overfladen af saltmarsken.

Saltmarsken selv bidrager også med organisk materiale til jordoverfladen gennem planternes underjordiske dele, og når de fælder løv. Det organiske materiale begravnes af sedimenter og stabiliseres af tilvækst af rødder, stængler og blade. De periodiske oversvømmelser gør, at jorden jævnlgt er vandmættet og iltfri, da iltten hurtigt opbruges af mikroorganismer, og de iltfrie forhold begrænser nedbrydningen af det organiske stof.

Da saltmarsker samtidig er blandt de mest produktive økosystemer, overstiger saltmarskens produktion typisk nedbrydningen. Det betyder, at saltmarsken gradvist hæver sig og samtidig udvider sig mod kysten, en proces som gennem århundreder er blevet udnyttet og effektiviseret ved brug af såkaldte slikgårde i det sønderjyske marskland.

Den gradvise hævnng medfører, at saltmarsken kan blive ved med at akkumulere og oplagre kulstof over lange tidsperioder, modsat andre økosystemer som mættes af kulstof. Disse egenskaber gør samlet set, at saltmarsker oplagrer 30-50 gange mere kulstof i jorden end skovbunden på land.

De lavbundslande, der nu er udpeget til at blive taget ud af drift, ligger alle på organisk rige jorde og er etableret for at beskytte de kulstoflagre, som allerede befinder sig i jorden. Men for saltmarsker er naturlig hydrologisk dynamik en vigtigere forudsætning, da den medfører en kontinuerlig tilførsel af sedimenter og organisk materiale. Hermed fungerer saltmarsken som kulstofdræn for alle jorde, for eksempel sandjord. Saltmarsken har en fordel som klimabuffer sam-

menlignet med ferske lavbundslande. Ferske vådområder udleder betydelige mængder metangas (CH₄), en drivhusgas, som er op til 28-34 gange mere potent end CO₂. Men i saltmarsken udkonkurreres de metan-dannende bakterier af sulfat-reducerende bakterier, og derfor hæmmes dannelsen af metan kraftigt i kystnære økosystemer.

Kystbeskyttelse, biodiversitet og vandkvalitet

Saltmarskers placering på overgangen mellem det marine og det terrestriske miljø samt deres tætte vegetationsdække gør, at de også fungerer som et naturligt kystværn. Når højt tidevand eller stormfloder rammer saltmarsken, vil bølgeenergien brydes, og vandhastigheden sænkes. Dette hæmmer erosion, og bremser den bølgeenergi, som rammer bagvedliggende infrastruktur. Dertil kommer, at en sund saltmarsk typisk hurtigt kan regenerere efter storme grundet evnen til at fange og binde sedimenter og andet suspenderet materiale.

Saltmarsker fungerer derudover som levested og fourageringsområde for en lang række vadefugle og trækfugle, invertebrater og fisk.

Konkrete eksempler på saltmarskens potentiale

De to store kort vist i figur 1 er et produkt af kort over kystnære lavbundslande og Danmarks højdemodel, og de er et værktøj til at kunne udpege potentielle områder for etablering eller genetablering af saltmarsk. Kystdirektoratet har i deres seneste risikovurdering for oversvømmelse og erosion langs den danske kystlinje lagt vægt på, at vi i højere grad må acceptere oversvømmelser. Konkret har de udpeget 207 strækninger, hvor de ikke anbefaler ekstra kystsikring mod de stigende vandstande.

Der er derfor grobund for at kombinere Kystdirektoratets ønsker med tiltag, som vil sikre yderligere saltmarsker i Danmark.

Kortene her, som er uddrag af figur 1, viser tre eksempler på inddigede områder med potentiale for genetablering af saltmarsker ved en udbredelse af saltmarsken op til

1 meter over middelvandstand (øverst) og til

2 meter over middelvandstand (nederst):

A: Saltmarskpotentialet i Frederikskogene og Magrethekogene i Vadehavet nær den dansk-tyske grænse. Området er gradvist inddiget siden 1692 og frem til 1981, hvor "det fremskudte dige" blev etableret. Kystdirektoratet anbefaler ingen ekstra kystsikring på denne strækning. Nationalpark Vadehavet er en del af UNESCO's verdensarv på grund af sin enestående naturværdi, som vil blive fremmet yderligere ved at gendanne disse saltmarsker.

B: Saltmarskpotentialet ved Overgaards dæmning ved Mariager Fjord. Landvindingen med landbrug for øje fandt sted i 1961-1965. En fjernelse af dæmningen har tidligere været diskuteret men uden resultat. Kystdirektoratet anbefaler kystsikring på strækningen, men ikke ved Overgaards dæmning.

C: Saltmarsk potentialet ved Gjør og Øland. Gjør og Øland var øer i Limfjorden frem til 1921. Dæmninger og dræning har dog siden gjort dem landfaste, og jorden udnyttes i høj grad til landbrug. De to øer kan dog let erkendes, når man kigger på saltmarskpotentialet. Kystdirektoratet anbefaler her kystsikring.

For mere information om Danmarks inddigede områder på www.dettafteland.dk.



Vegetation ved Ulvedyb mellem Øland og Gjøl i Nordjylland. Her er der et stort potentiale for saltmarsk. Foto: Jeppe Najbjerg Hansen

Projektet Blå Skove

Blå Skove er et projekt støttet af Veluxfonden, som startede i 2019 i et samarbejde mellem Syddansk Universitet og Aarhus Universitet. Projektets formål er at kvantificere ålegræsenge og saltmarskers rolle som kulstofdræn og klimabuffer og undersøge muligheden for at inkludere disse bidrag i de nationale klimaregnskaber.

Yderlige læsning:

Moeslund JE, Arge L, Bøcher PK, Nygaard B, Svenning J-C. Geographically Comprehensive Assessment of Salt-Meadow Vegetation-Elevation Relations Using LiDAR. *Wetlands*. juni 2011;31(3):471–82

Aaberg M. Når Klimaet ændres: Nu bør vi acceptere oversvømmelser fra havet [Internet]. DR. 2021.

McLeod E, Chmura GL, Bouillon S, Salm R, Björk M, Duarte CM, m.fl. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*. december 2011;9(10):552–60.

Gerwing TG, Davies MM, Clements J, Flores A-M, Thomson HM, Nelson KR, m.fl. Do you want to breach an embankment? Synthesis of the literature and practical considerations for breaching of tidally influenced causeways and dikes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 30. oktober 2020;245:107024.

Graversen AE. Impacts of grazing livestock on the carbon stock and carbon sequestration in Danish saltmarshes. Specialerapport. Aarhus Universitet 2018. – Viderearbejdet til: Graversen A.E.L., Banta GT, Masque P, Krause-Jensen D. Carbon storage in Danish salt marshes in relation to grazing. *Limnology and Oceanography*, under review.



Ved at etablere nye saltmarsker på eksempelvis landbrugsjord kan man derfor øge biodiversiteten, fordi saltmarsken skaber et levested og grundlag for en lang række planter og dyr.

Saltmarsker tilbageholder desuden næringsstoffer gennem planternes produktivitet og udfældningen af suspenderet materiale i havbunden. Dermed bidrager saltmarsker også til forbedret vandkvalitet.

Optimering af fremtidens saltmarsker

Fremtiden byder på mere regn, hyppigere stormfloder, højere vandstand og generelt vildere vejr. På lavbundsjordene vil kampen for at holde arealerne tørre blive en gradvist sværere proces med stigende omkostninger til følge. Og det betyder, at saltmarsker på ydersiden af diger og dæmninger kan blive fanget og klemte mellem dem og havet. Et fænomen kendt som “coastal squeeze”. Under worst case scenarier med en øget

vandstand på 1,35 meter, vurderes det, at 64-73% af alle nuværende danske strandenge kan drukne. Det betyder tab af store kulstofdræn foruden alle de andre økosystemtjenester, som saltmarskerne bidrager med.

Løsningsmodellerne er mange, og en af dem, der blandt andet er brugt i Storbritannien, er at flytte digerne længere indlands, så saltmarskerne har plads til at udvikle og brede sig. Det har dog været med svingende succes. En anden løsning er helt at fjerne diger/dæmninger og tillade en naturlig kystdynamik, hvor saltmarsker naturligt indgår som en buffer. Denne løsning vil bidrage til en vildere og mere naturlig dynamik langs de danske kyster.

Kystdirektoratets seneste anbefaling er, at man accepterer og tillader oversvømmelser på visse kyststrækninger i Danmark. Specielt i de områder, hvor det er lavproduktiv landbrugsjord, som er

i fare for oversvømmelser, er tabet af infrastruktur minimalt. Kampen mod oversvømmelser og stormfloder er kort sagt for dyr i forhold til gevinsten.

Investering i en naturbaseret løsning

Saltmarskens mange funktioner opbygges gradvist, selvom det dog kan tage årtier før de genetablerede saltmarsker opnår de samme biologiske, hydrologiske og geologiske betingelser som allerede eksisterende saltmarsker. Det er i høj grad de enkelte områders udgangspunkt, og hvor effektivt man kan restaurere de naturlige dynamikker, som afgør tidshorisonten.

Genetablering af saltmarsker skal altså ses som en investering i en omstilling til et fremtidigt vådere og mere klimavenligt og biologisk mangfoldigt Danmark – en naturbaseret løsning, der bidrager til både kulstoftilbageholdelse, kystsikring, biodiversitet og vandkvalitet. ■

06.10.2021

MØD AARHUS UNIVERSITET TIL GIRLS' DAY IN SCIENCE 2021

Girls' Day in Science er en kampagedag, der inspirerer piger til en fremtid med naturvidenskab, teknologi, IT og håndværk. Over hele landet inviterer virksomheder, organisationer, uddannelsesinstitutioner, biblioteker og museer piger fra grundskoler og gymnasier indenfor. Her møder pigerne kvindelige rollemodeller og deltager i virkelighedsnære workshops. På den måde oplever de, hvordan de kan gøre en forskel med naturvidenskab og teknologi. Læs mere på nvhus.dk.

#GIRLSDAYINSCIENCE

Den toplettede mariehøne i færd med at æde bladlus. Af denne grund er den skattet af blandt andet frugtavlere.
Foto: Shutterstock



ROVINSEKTER PÅ PLANTEKOST

Hvis man skaber gode betingelser for skadedyrenes naturlige fjender i marken, kan de hjælpe med begrænse skader på afgrøderne. Man kan hjælpe disse kødædere ved at sørge for, at de har adgang til rigelige mængder af nektar og pollen fra blomster.



Forfatteren
Lene Sigsgaard er Lektor ved institut for Plante og Miljøvidenskab, Københavns Universitet. Hun forsker i samspillet mellem insekter og planter, naturlig regulering og biologisk bekæmpelse.
les@plen.ku.dk

En måde at forebygge problemer med skadedyrangreb på afgrøder er at skabe bedre betingelser i marken for skadedyrenes naturlige fjender såsom rovinsekter, edderkopper, rovmider mv. I det følgende vil jeg blot kalde disse for "rovinsekter", selvom det ikke er helt korrekt, da de ikke alle videnskabeligt set er insekter. En god forebyggelse nedsætter behovet for anden bekæmpelse og er dermed økonomisk fornuftig og en gevinst for miljøet.

Føden er selvfølgelig afgørende for rovinsekters overlevelse, levetid og formering. For at opnå god og effektiv biologisk bekæmpelse er det derfor afgørende at kende deres fødebehov. Med de rette tiltag i og

omkring marken kan man sikre, at en stor og mangfoldig population af nyttedyr kan overleve og være til gavn og bidrage til at regulere skadedyr. Viden om rovinsekters fødebehov kan også være værdifuld, når de skal opformeres til brug for biologisk bekæmpelse.

Rovinsekter og blomster

Vi kender mest rovinsekter som kødædere, men forskning viser, at mange rovinsekter har stor gavn af blomster og kan overleve i længere perioder på nektar og pollen alene. En systematisk gennemgang af den videnskabelige litteratur om værdien af blomster, pollen og nektar for rovinsekter viste, at på tværs af alle rovinsekter lever hunnerne 2,2 gange længere med adgang til blomster

og hannerne 1,7 gange længere sammenlignet med, hvis de ikke har adgang til blomster og kun har adgang til vand. Dette dækker over store forskelle mellem de forskellige arter af rovinsekter og hvor værdifulde forskellige blomster er.

Nogle rovinsekter kan endda lægge æg blot med adgang til blomster. Af 17 arter af rovinsekter, som vi og andre forskere har testet med mere end én art af blomster, levede 9 arter, herunder guldøjer, den toplettede mariehøne og næbtæger betydeligt længere med blomster. For de resterende 8 arter, herunder en rovmideart, gav blomster ikke signifikant længere levetid.

Blomster er også meget forskellige.

I boghvede, der har åbne blomster og også er en dyrket afgrøde, levede rovinsekterne i snit 8,6 gange længere end på vand. Åbne blomster med kort kronrør er nødvendige for, at rovinsekterne kan få adgang til nektaren i blomsterne, da de ikke har tunger som for eksempel sommerfugle og humlebier. Eksempler på åbne, gavnlige blomster er vild gulerod, hvid okseøj, dild og mælkebøtter. Katost, røllike og hvid okseøj er også meget værdifulde blomster for rovinsekterne, mens for eksempel almindelig kællingetand og slangehoved, der har et dybere kronrør, ikke er så gavnlige for rovinsekterne.

Den toplettede mariehøne lever længere på blomsterdiæt

I laboratoriet undersøgte vi værdien af forskellige blomster for den toplettede mariehøne, *Adalia bipunctata*, en almindelig mariehøne og en vigtig bladlusfjende. Desuden testede vi værdien af pollen og de tre mest almindelige sukkerarter i nektar; sucrose, glucose og fructose. I sammenligning med vand levede både larver og voksne længere på en blomsterdiæt. På de bedste blomster overlevede voksne mariehøns cirka 2 måneder, men lagde ingen æg. Blomsterne har med andre ord selv for denne rovlevende bladlusfjende stor værdi



og kan bidrage til at holde dyrene i live i perioder, hvor der er mangel på byttedyr.

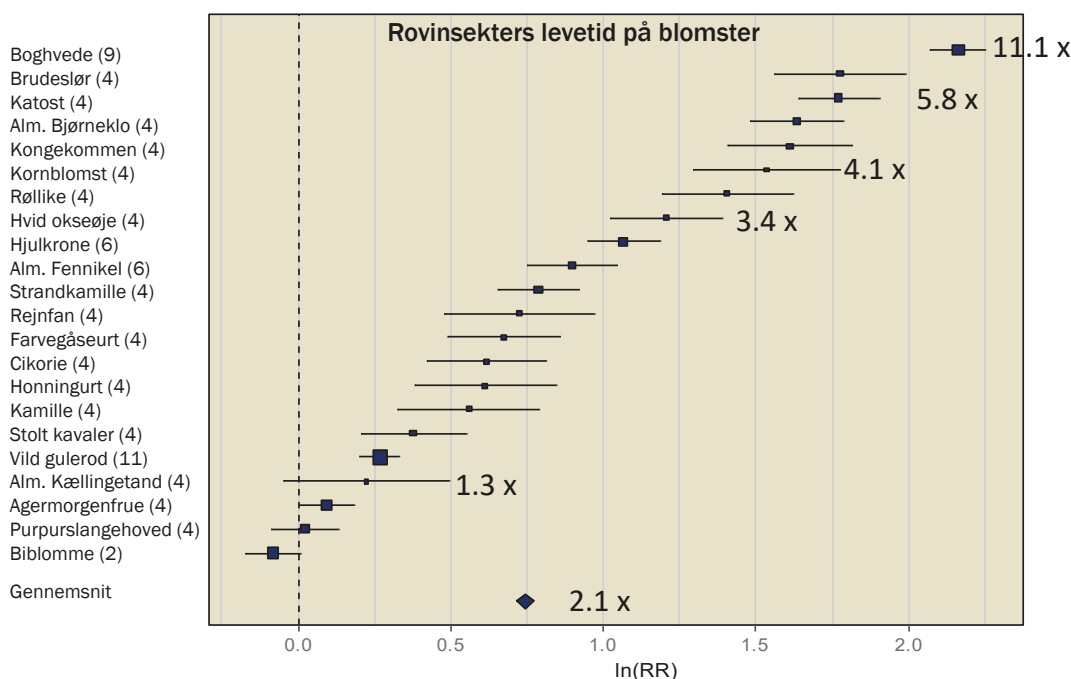
Blomsterstriber i frugtplantagen

Det er muligt at understøtte og opbygge en stor og divers population af naturlige fjender af skadedyr ved at plante blomsterstriber og blomstrende hegn langs markerne. Pollen og nektar er et supplement, som nyttedyrene kan overleve på, når der mangler skadedyr. Dertil kommer, at de kan finde andre in-

sekter at æde i hegn og blomsterstriber.

Den gode virkning af blomsterstriber bekræftes af feltstudier, som også peger på, at man skal vælge et bredt spektrum af vilde hjemmehørende plantearter med forskellige blomstringstider, så der er noget, der blomstrer, hele sæsonen. Flerårige hegn og blomsterstriber giver mere biodiversitet og bedre vinteroverlevelse.

Blomsterstribe med blandt andet røllike, der er god til rovinsekter.
Foto: Lene Sigsgaard



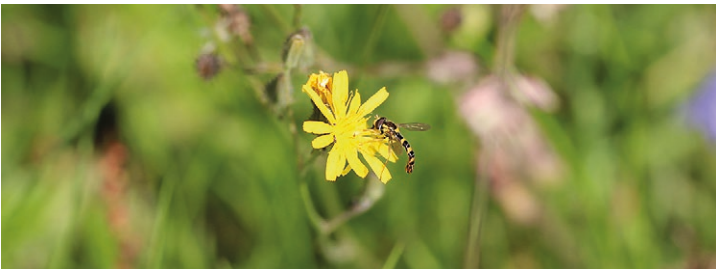
Grafen viser forskellen i rovinsekters levetid på blomster af forskellige plantearter i forhold til på vand. y-aksen viser plantearter, hvis værdi har været testet for rovinsekter (inklusive rovmider). Tallet i parentes er antal studier udført.

For eksempel er der 11 studier af værdien af vild gulerod for rovinsekter. På x-aksen bruges den inverse logaritme af forskellen i levetid $\ln(RR)$. For enkelte arter er der på grafen indsat den omregnede, afrundede værdi for, hvor mange gange længere rovinsekter kunne leve på arten end på vand.

Blomsterstriber mellem frugttræer fremmer en stor og divers population af rovinsekter, der er skadedyrenes naturlige fjender.

Nederste billede:
Svirreflue på grøn høgeskæg
Fotos: Lene Sigsgaard

Forskningen beskrevet i artiklen er støttet af Danmarks Frie Forskningsfond, Teknologi og Produktion; CORE Organic +/- GUDP projektet EcoOrchard, Interreg NS projektet Beespoke samt EU projektet Biofruitnet.



Yderligere læsning
Artiklen bygger på publicerede studier:

He X., Kiær LS, Jensen PM, Sigsgaard L. 2021. The effect of floral resources on predator longevity and fecundity: A systematic review and meta-analysis. Biological Control 153, 104476 <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104476>

He, X., Sigsgaard, L. 2019. A floral diet increases the longevity of the coccinellid *Adalia bipunctata* but does not allow molting or reproduction. Frontiers in Ecology and Evolution 7:6. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00006>

Cahenzli, F. et al 2019. Perennial flower strips for pest control in organic apple orchards - A pan-European study. Agriculture, Ecosystems and Environment 278, 43-53 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.03.011>

Herz, A., Cahenzli, F., Penvern, S., Pfiffner, L., Tasin, M., Sigsgaard, L. 2019. Managing Floral Resources in Apple Orchards for Pest Control: Ideas, Experiences and Future Directions. Insects, 10(8), 247. <https://doi.org/10.3390/insects10080247>

Værdien af forskellige diæter

Byttedyr	
Melmøl-æg (<i>E. kuehniella</i>)	193,48 ± 13,29
Sukkeropløsning	
Fruktose	90,62 ± 3,32
Glucose	92,34 ± 4,08
Sucrose	71,07 ± 4,17
Blomsterdiæt	
<i>A. graveolens</i> (dild)	65,97 ± 3,43
<i>F. esculentum</i> (boghvede)	56,04 ± 3,72
<i>S. alba</i> (gul sennep)	10,11 ± 0,66
Sucrose og <i>A. graveolens</i> -pollen	92,40 ± 5,82
<i>A. graveolens</i> -blomsterstilk	5,80 ± 3,43
Pollendiæt	
<i>A. graveolens</i> (dild)	6,49 ± 0,20
<i>M. pumila</i> R (æble)	5,87 ± 0,29
<i>M. pumila</i> RD (æble)	7,04 ± 0,26
<i>T. angustifolia</i> (smalbladet dunhammer)	7,00 ± 0,22
Vand	4,93 ± 0,19

Værdien af forskellige blomsterdiæter for voksne af den toplettede mariehøne i form af antallet af dage, mariehønsene kunne overleve på diæten. Som positiv kontrol er sammenlignet med en diæt på æg af melmøl (*Ephestia kuehniella*), som har høj næringsværdi, mens vand er negativ kontrol. Det var kun på melmøl-diæten, at mariehønsene lagde æg – i snit lagde hunnerne næsten 700. For at være sikre på, at det er pollen og nektar, som har næringsværdi i blomsten, blev der som en ekstra kontrol også lavet forsøg med en diæt på blomsterstilk af dild.

Bemærk, at voksne mariehøns kunne overleve blot på sukkeropløsning i omkring 3 måneder og mere end 2 måneder på dild og boghvede. Det fremgår også, at pollen var bedre end blot vand.

I forsøg i frugtplantager har vi brugt blandinger med 30-40 forskellige hjemmehørende arter, dertil også græsser, som er med til at gøre blomsterriben mere robust. I forsøg i plantager i syv europæiske lande såede vi blomsterstriber mellem alle træerækker i halvdelen af en række økologiske æbleplantager, mens den anden halvdel blev dyrket normalt med græs mellem træerne. Vi fandt signifikant flere naturlige fjender og en nedsat skade fra bladlus og æblevikler i den del af plantagerne, der havde blomsterstriber.

Insekters mobilitet afhænger af art og livsstadie. Eksempelvis kan en mariehøne flyve temmelig langt, mens en rovmidde ikke kan komme så langt. Derfor giver det god mening at bringe blomsterne tæt på træerne for at få den fulde gavn af blomsterne. Forsøg viser dog, at hvis blomsterstriberne placeres i kanten af marken, gavner de også sammenlignet med plantager helt uden blomster, men effekten er størst i nærheden af striben.

Diversitet også til gavn for vilde bestøvere

Det kan betale sig at designe fremtidens landbrug, så der er mere diversitet inde på markerne og plads til vilde blomstrende planter langs markerne. Det er både til gavn for de naturlige fjender, for bestøvere og for biodiversiteten. Det skal gøres på et informeret grundlag for at få størst effekt. Derfor er vi nu i gang med at se på, hvordan vi kan designe og placere blandede blomsterstriber og blomstrende hegn, der både gavner rovinsekter og bestøvere. Det er klart, at meget store marker har mindre gavn af blomsterstriber i randen. I fremtiden kan robotteknologi og kunstig intelligens hjælpe til at gøre det muligt præcist at dyrke og høste afgrøder i ret smalle striber (3-6 m). Det vil også gøre det enkelt at etablere og bevare blomsterstriber eller rækker af bærbuske eller frugttræer og derved skabe mere plads til dyr og planter og højere diversitet i markfladen. ■

EN SANDWICH I RUMMET

Sandwichpanelet er opbygget med et kerne-materiale, som danner en "bikagestruktur", og kulfiberepoxyplader udenom. Foto: Shutterstock

Små satellitter udvikles i dag på baggrund af krav, der er opstillet for mere end 20 år siden. Ved at udnytte en smart sammensætning af kul og plastik, som kaldes en "sandwich", er det muligt at halvere vægten på en satellitstruktur.

Satellitdata er blevet en integreret del af vores hverdag her på jorden. Med en stigende efterspørgsel på at nå rummet hurtigere, billigere og med øget frekvens, oplevede rumfartsindustrien et paradigmeskift fra traditionel rumfart til det, der i dag kaldes "New Space". Her har standardiserede komponenter indtaget verdensrummet i såkaldte CubeSats. Ved introduktionen af denne nye teknologi fulgte en industrialisering af rumfartsindustrien, der gjorde det muligt for private aktører at stifte start-ups, og i dag er New Space en industri, der er tilgængelig for enhver med interesse for rummet.

CubeSats er en miniature-satellit, som består af flere enheder, hvoraf én enhed (1 Unit) måler 10 x 10 x 10 cm.



CubeSats i forskellige størrelser. (Fra venstre: 12U, 6U, 3U, 2U, 1U).

Illustration: Radius Space.

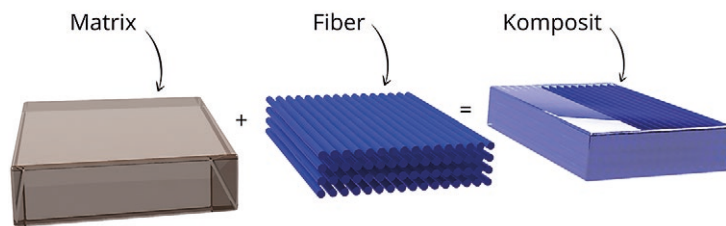
Grundet deres kompakte design og udvikling, baseret på eksisterende komponenter, er det lykkedes at minimere omkostninger for udvikling af de små højteknologiske kuber og samtidig sende dem i rummet på "ryggen" af større raketopsendelser. Den første CubeSat blev udviklet af California State Polytechnic University tilbage i 1999. Sammen med Stanford

University Space Development Laboratory udarbejdede de en standard med generelle krav og processer for at kunne udføre en succesfuld CubeSat-mission. Siden da er mange start-ups accelereret fra dette første skridt mod CubeSats, der blandt andet dikterer, at der skal benyttes specifikke aluminiumslegeringer til strukturelle komponenter.

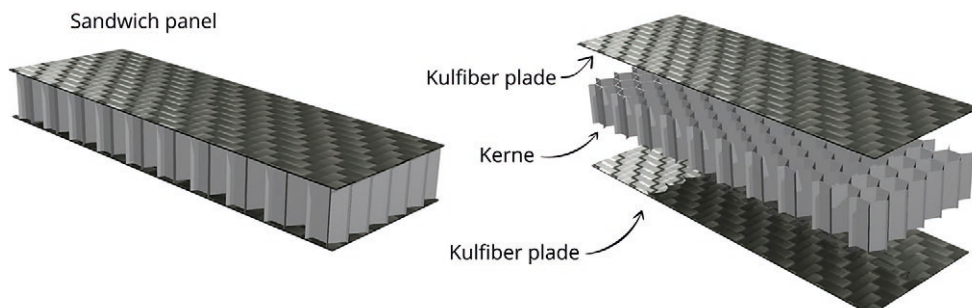
Om forfatteren



Nicolai Iversen er maskiningeniør og arbejder med forskning ved Maersk McKinney Møller Institutet på Syddansk Universitet. Han har publiceret artikler og præsenteret sin forskning på anerkendte konferencer indenfor robotter til sundhedssektoren, automatisering, drone-teknologi, rumfart samt etikken bag teknologisk udvikling. Han er medstifter af SDU Galaxy, som er et initiativ på Syddansk Universitet med fokus på rummet og kobling af uddannelse, forskning og industri. niiv@mmdi.sdu.dk



Et kompositmateriale kan som her være opbygget af en matrix og ensrettede fibre.
Illustration: Nicolai Iversen.



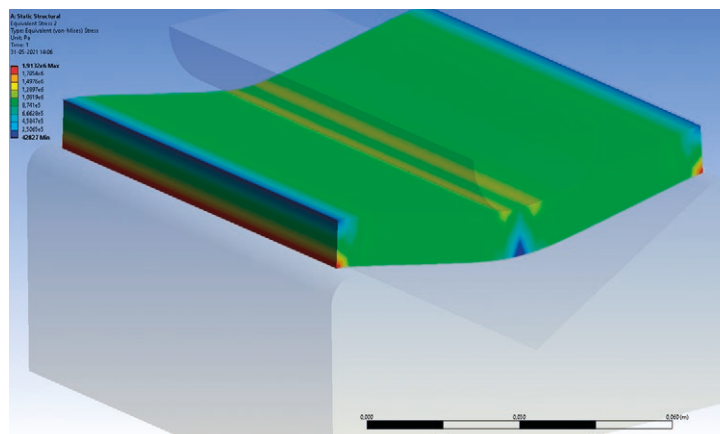
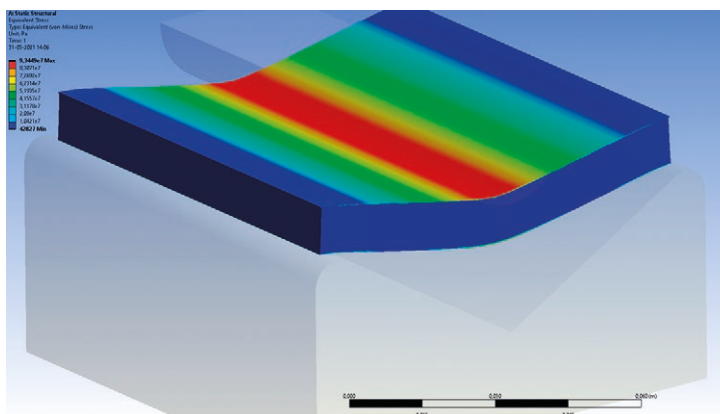
Sandwichpanelet er opbygget med et kernemateriale, som danner en "bikagestruktur", og kulfiberepoxyplader udenom. Det samlede materiales stivhed og styrke kan forøges ved at øge tykkelsen af kernematerialet, som tabellen viser.

Illustration: Nicolai Iversen

		Kernetykkelse	Stivhed	Bøjningsstyrke	Vægt
t		-	1.0	1.0	1.0
2t		t	7.0	3.5	1.03
4t		3t	37.0	9.2	1.06

Figuren viser øverst en grafisk simulering af, hvordan spændinger fordeles igennem panelet, når det bøjes. Den røde farve illustrerer de højeste spændinger i midten af kulfiberepoxy-pladen på 93,4 MPa.

Nederst fokuseres analysen til kun at illustrere spændingsfordelingen igennem kernen af panelet. Som ønsket er spændingerne her noget lavere på kun 1,9 MPa.



Når der designes mekaniske strukturer, er materialevalg altid et kompromis imellem stivhed, styrke samt vægt. En robust struktur sikrer det nødvendige miljø for, at øvrige komponenter overlever en given missions levetid. Strukturer med øget styrke, stivhed, miljømæssig stabilitet osv. kan bidrage til øgede opsendelsesmuligheder for CubeSats og samtidig åbne op for udforskningen af det ydre rum. Lavere vægt gør desuden en satellit mere smidig. Det betyder, at levetiden for en CubeSat-mission kan forlænges fra 1-2 år op til 4-5 år. Denne forøgelse kræver indbyggede fremdriftssystemer, for at satellitten forbliver i sin kredsløbsbane, hvilket ofte er forbundet med tunge elektriske systemer eller butangas-tanke og trykdyser.

Kompositmaterialer i en sandwich

Der kan altså være flere gode grunde til, at der bør afviges fra den mere end 20 år gamle specifikation, og på Syddansk Universitet (SDU) i Odense forsker vi nu i muligheden for at benytte fiberforstærkede kompositmaterialer til CubeSats. Et kompositmateriale er fremstillet af to eller flere materialer med væsentligt forskellige fysiske eller kemiske egenskaber, der, når de kombineres, skaber et materiale med egenskaber, der adskiller sig fra de enkelte komponenter.

De enkelte komponenter forbliver adskilte i det færdige emne, hvilket adskiller kompositter fra blandinger og faste opløsninger. Materialerne kan skræddersys til at skabe unikke egenskaber, der er optimeret til at modstå mekaniske belastninger og andre påvirkninger fra det barske miljø. Fiberforstærkede kompositmaterialer består af fibre som hovedbærende element indlejret i et andet materiale – en matrix – der fungerer som et medium, der overfører belastninger mellem fibrene. Blandt de mest udbredte sammensætninger af kompositmaterialer findes glasfiber-epoxy (fiber-matrix), som ofte ses i både konstruktion og vindmøllevinger, el-

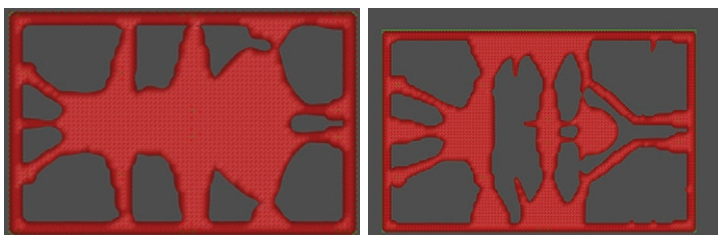
ler kulfiber-epoxy (CFRE), der indgår i produkter med høje krav til styrke, stivhed og vægt som golfudstyr og racerbiler. Med udgangspunkt i en plade kan egenskaberne optimeres yderligere ved at opbygge pladen som et sandwich-panel, hvor tynde kulfiber-epoxy-plader omslutter et yderst let kernemateriale i midten (ofte med en kubisk struktur som en bikage).

De tynde, stive plader danner et effektivt spændingspar eller modstandsmoment, der gør det svært at bøje den samlede plade. Det lette kernemateriale sørger for, at kræfter kan forskydes i materialet og stabiliserer pladerne mod at "rynke" ved at overføre belastninger mellem hver side af panelet.

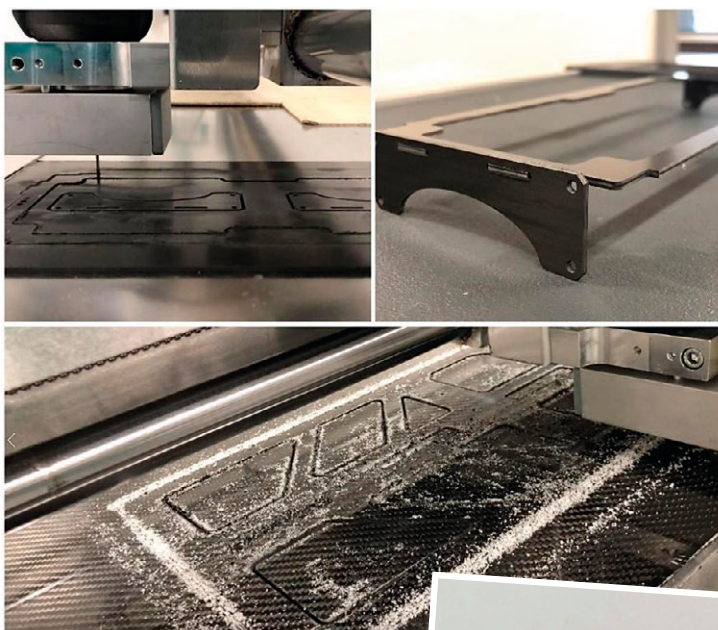
Her fordeles spændingerne i de stærke og stive kulfiber-epoxy-plader, der nu har øget indflydelse på stivheden grundet afstanden mellem dem (jo større afstand, desto større effekt). Samtidig sikres lav belastning i det svage og lette kernemateriale. Resultatet er altså et panel, der er både stivere, stærkere samt lettere end en tilsvarende plade af et massivt kompositmateriale – smart!

Konstruktion af en CubeSat-struktur

Satellittens struktur består naturligvis af andre dele end blot de smarte sandwich-paneler. Den endelige konfiguration består af en top- og bundplade samt fire vinkelskiner i hvert hjørne for at binde sandwichpanelerne sammen. Vinkelskinerne vil være i kontakt med raketens udløsningsmodul, der med en fjeder sørger for, at satellitten skubbes forsigtigt ud i sin rette bane. For yderligere at minimere vægten på den færdige struktur, har vi på SDU udarbejdet en såkaldt *topologi-optimering*. Her beskrives matematisk, hvordan strukturen belastes, hvorefter en numerisk analyse gradvist reducerer materialet i de områder, hvor spændingerne er lavest. Her identificeres altså, hvor der kan spares materiale mest effektivt.



Figuren viser, hvordan en numerisk analyse kan afsløre, hvordan det ideelle panel bør fremstilles for at opnå den mest effektive vægtbesparelse og samtidig maksimere styrke samt stivhed. De to resultater stammer fra to forskellige belastningsscenarier, der kan variere alt efter satellittens payload. Denne type analyse kaldes en topologi-optimering.



Komponenterne til satellit-strukturen fremstilles og samles i SDU's højteknologiske kompositlaboratorie i Hans Christian Andersen Lufthavnen. Fotos: Nicolai Iversen.

Herefter genereres et endeligt design, som både fremstilles og efterbearbejdes i SDU's eget højteknologiske kompositlaboratorie i Hans Christian Andersen Lufthavn.

En sandwich i rummet er ikke "bare lige..."

Egenskaberne for en kulfiber-epoxy-sandwich lyder lovende, men de kommer med en pris. Når der afviges fra en specifikation med mere end 20 års erfaring, kræves der yderligere dokumentation, test og verifikation for at sikre sig en billet ombord på en raket mod rummet. At introducere den avancerede materialekombination i satellit-designet byder på fremstillingsudfordringer, og vi konfronteres med begreber som anisotropi, glasover-

gangstemperatur, brudkriterier samt tomrum-analyse. På rejsen gennem jordens atmosfære oplever raketten, og satellitterne ombord, ekstreme belastninger. Heldigvis har virksomheder som SpaceX og



Videre læsning:
www.sdu.dk/galaxy
www.discosat.dk
www.cubesat.org

Rocketlab sendt mange raketter i rummet, og belastningerne er hermed kendte, hvilket gør det muligt at analysere, hvordan strukturen vil opføre sig under de voldsomme vibrationer. Det er dog mere komplekst en som så, da sandwich-panelet består af et *anisotropisk* materiale. Det betyder, at materialet ikke har de samme egenskaber i alle retninger i modsætning til et metal, som er *isotropisk* og dermed har samme egenskaber i alle retninger. Det kræver derfor både numeriske analyser og avancerede test at bestemme, hvornår og hvordan strukturen vil bryde (brudkriterier). Når analyserne har fastlagt de forventede brudkriterier er prototyperne klar til test. Testresultaterne verificerer de numeriske analyser og bekræfter, om strukturen kan rejse sikkert ud i rummet.

Men rejsen ud i rummet er kun første skridt for den avancerede struktur. Satellitten skal nu tilbringe årevis i et rummiljø fyldt med udfordringer. Den mest åbenlyse udfordring er rummets vakuum. Fordi kernematerialet i sandwich

består af pentagon-formede kamre, er det vigtigt, at disse perforeres så der ikke skabes uønskede luftlommer i panelet, som kan medføre eksplosioner.

En anden udfordring er at sørge for, at satellitten holder sig indenfor det rette temperaturinterval, som er bestemt af den konkrete mission. Da satellitten befinder sig i et miljø med vakuum er den eneste måde at opvarme strukturen på gennem stråling. Der tilføres energi til satellitten igennem tre generelle former for stråling i rummet: Infrarød stråling fra Jorden, direkte stråling fra solen samt reflekteret sol-stråling fra Jorden (som varierer med Jordoverfladens beskaffenhed og skydække). Satellitten stråler samtidig selv energi ud i rummet. På grund af satellittens bane rundt om Jorden vil den på nogle tidspunkter befinde sig i Jordens skygge og kun modtage infrarød stråling fra Jorden. Her kan det ske, at strålingsbalancen for satellitten bliver negativ, så der netto stråles energi ud fra satellitten, og der risikeres yderst lave temperaturer. Det er derfor vigtigt

at analysere temperaturstabiliteten for materialerne samt deres varmeledningskoefficienter, så man er sikker på, at satellitten kan modståturen igennem skyggen. Specielt for matrixen er det vigtigt at kende det temperaturinterval, hvor materialet kan overgå til såkaldt glastilstand, idet materialets hårdhed, stivhed og styrke reduceres signifikant i denne tilstand. Glasovergangstemperaturen er afgørende for et kulfiber-epoxy panel, da matrixen anses som det svageste led i strukturen.

Der er altså mange faktorer, der tages i betragtning, før vi sender et nyt materiale ud i rummet, og igennem The Danish Student CubeSat Programme (DISCO) er dette lige netop ambitionen. Her udvikles tre 1U-satellitter, hvoraf SDU i samarbejde med Aalborg Universitet har hovedansvaret for den såkaldte DISCO-III-satellit. Det er nu op til de nuværende og kommende studerende med tilknytning til kompositlaboratoriet på SDU at videreudvikle og tilpasse strukturen, så opsendelse af satellitten kan ske som planlagt i sommeren 2024. ■

Study Mathematical Bioscience

Roskilde University offers a unique integrated master's programme for students with a deep interest in mathematics and biology.

Specialize in mathematical modeling of health and disease developments, ecology, or mathematical methods.

→ **Mathematical Bioscience**

ruc.dk/en/master/programmes



RUC



Undervisningsmaterialer

Du kan finde masser af inspiration til undervisningen i de naturvidenskabelige fag på AktuelNaturvidenskab.dk

Sære sanser

Undervisningsmaterialet består af en række eksperimenter rettet mod syns- føle- og smagssansen (6 øvelsesvejledninger) samt et arbejdsark omhandlende særlige sanser hos hvaler og fugle. Forløbet er udarbejdet af arbejdsgruppen ved Viborg Gymnasium og beregnet på undervisningen i Biologi B/A samt Bioteknologi A.

Materialet trækker på en række artikler fra Aktuel Naturvidenskab og knytter også an til foredraget *Sære sanser*, som professor Peter Teglbjerg Madsen holdt i serien Offentlige foredrag i Naturvidenskab den 11. maj. I næste nummer bringer vi en artikel med Peter Teglbjerg.

Som perspektivering af emnet sanser har arbejdsgruppen ved Viborg Katedralskole udarbejdet to arbejdsark om henholdsvis HTRF (retningsbestemmelse) og Støjreducerende høretelefoner. Målgruppe: Fysik C/B-niveau

Magtfulde mikrober

Materialet består af to laboratorieøvelser, der kan udføres i forbindelse med temaet i artiklen *Mikrober har magt til at gøre dig syg – og holde dig rask* i dette nummer. Den ene øvelse handler om estimering af antal mælkesyrebakterier i produktet Lactocare Daily. Målgruppen er Biologi B, Biologi A, Bioteknologi A. Den anden øvelse handler om bakteriers indvirkning på laktase (Enzymkinetik). Målgruppe: Bioteknologi A + evt. Matematik.

Øvelserne er udarbejdet af Anne Marie Rasmussen, Viborg Katedralskole – for øvelsen om bakteriers indvirkning på laktases vedkommende i samarbejde med to tidligere elever Freja Foget Andersen og Mette Marie Bjerg Boiesen.

Quizzer

Prøv de nye quizzer om henholdsvis magtfulde bakterier og planteliv i skyggen, der knytter an til artiklerne *Mikrober har magt til at gøre dig syg – og holde dig rask* og *Planters hemmelige liv i skyggen af andre* i dette 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 Broksø, kommunikationschef, Det Natur- og Biomedicinske Fakultet, Københavns Universitet
- Jane Thoning Callesen, communication manager, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Niels Kring, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Sanne Holm Nielsen, kommunikationsmedarbejder, Aalborg Universitet
- David Lundbek Egholm, prodekan ved Faculty of Natural Sciences, Aarhus Universitet

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

Layout: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S

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

Oplag: 9.600



Redaktionsgruppe

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

Redaktionen:

Tlf.: 87 15 20 94

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

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

Omslagsfoto: Hvordan vi kan lære af fortidens pandemier som fx pestepidemierne for bedre at forstå nutidens modstykker? Foto: Shutterstock.

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

Digitale skrankepaver

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Sidste år havde jeg en dårlig toiletoplevelse på Aalborg Station. Her ville jeg frekventere toilettet, inden vores gæst ankom med toget, og det skulle man betale for. Så jeg fandt dankortet frem og forsøgte at gøre, hvad systemet bad mig om. Men uanset, hvad jeg gjorde, forblev toiletdøren hermetisk lukket. Systemet var meget lidt meddelsomt, og jeg fik ingen besked om, at noget var galt. Så for at undgå at risikere at få lænset mit dankort, opgav jeg med uforrettet sag. Jeg har nu erfaret, at det, jeg var udsat for den dag, var en digital skrankepave.

»En digital skrankepave er et system, der vil have tingene på sine præmisser og ikke brugerens«, siger professor ved Syddansk Universitet, Connie Svabo. Hun ved en del om digitale skrankepaver, fordi hun blandt andet forsker i oplevelser, teknologi og design på Institut for Matematik og Datalogi – altså hvordan mennesker og teknologi interagerer med hinanden. »En digital skrankepave kan man ikke forhandle med – den tilbyder ingen alternativer til den specifikke procedure, systemet er født med«, siger hun.

Forhandlingsvillige toiletter

Netop offentligt tilgængelige toiletter illustrerer meget godt den generelle problemstilling med digitale skrankepaver, mener Connie Svabo.

»Når vi skal bruge et toilet er det jo sjældent for sjov, og der kan måske endda være tale om en nødsituation. Og så er det meget frustrerende at blive mødt af et system, hvor der kun er én måde at komme igennem på – i dette tilfælde ved hjælp af et kreditkort. Hvad nu, hvis man er et barn? Eller bare ikke har det rigtige kreditkort?«, spørger hun.

Hun fortæller, at toiletsystemerne ved de tyske motorveje er langt mere forhandlingsvillige. De kan både tage kontanter og kort, og man kan endda kravle under eller igennem, hvis man er helt på spanden. Så det er et eksempel på, hvordan man kan konstruere selvbetjeningssystemer, så de tager



Illustration: AN/Shutterstock

udgangspunkt i brugerens situation og dermed kommer til at virke som venlige, digitale service-medarbejdere frem for skrankepaver.

Fleksibel og åben

Digitaliseringen af samfundet betyder, at vi møder flere og flere selvbetjeningssystemer i det daglige, så brugervenligheden af systemerne får dermed også indflydelse på vores generelle frustrationsniveau.

»Man kan sige, at nøgleordene i et venligt system set fra brugerens perspektiv er "fleksibilitet og åbenhed",« siger Connie Svabo. Fleksibilitet skal her forstås som, at man ikke er låst til en meget specifik procedure.

»For eksempel er scan selv-systemet i IKEA fleksibelt, idet man ved hjælp af en håndscanner kan scanne varerne i vilkårlig rækkefølge, mens de ligger på vognen, mens Føtex omvendt har et meget mere rigtigt system, hvor varerne skal tages op af kurven, scannes og placeres et helt bestemt sted – ellers går transaktionen i stå«, fortæller hun.

Åbenhed illustreres bedst med eksemplet med de tyske motorvejstoiletter, som man faktisk kan benytte, selvom man ikke har betalt. Det kan måske lyde ulo-

gisk, at man skal kunne bypasse et system, men som i tilfældet med toiletterne kan det nogle gange give god mening. Og det handler således ikke kun om den software, vi møder gennem skærmen, men om hvordan hele den fysiske arkitektur af systemet er designet og integreret med softwaren.

Connie Svabo håber, at designere af fremtidens selvbetjeningssystemer vil lære af de gode eksempler og skabe systemer, som mere er venlige og imødekommende hotelværter end bureaukratiske skrankepaver!

»Det kræver, at man tænker på brugeroplevelsen, som den udspiller sig i spændet mellem det digitale og det fysiske rum. Og at man også husker at tænke på brugergrupper som børn, turister eller mennesker med funktionsnedsættelse«, siger hun. ■