



NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL
natur **VIDENSKAB**

**JAGTEN
PÅ DEN GODE
ALDERDOM**

De danske HAVUHYRER

På vej mod ORGANISKE computerchips

FLASKEHALSE – når genetisk information går tabt

NR.4 - 2017 SEPTEMBER : 50 KR.

For meget forskning?

Jo mere forskning, jo bedre, synes tidens løsen at være. Men hvis "mere forskning" blot omsættes til endnu flere publikationer af tvivlsom værdi, giver det ingen mening. Og på det punkt har videnskaben et problem.

Vi forsker mere end nogensinde før i menneskehedens historie. På verdensplan er fem millioner mennesker beskæftiget med forskning, og alene OECD-landene bruger årligt over 1000 milliarder dollars på forskning. Det resulterer i millioner af faglige artikler, som udgives af 25.000 videnskabelige tidsskrifter. På tværs af ideologiske forskelle har politikere nemt ved at blive enige om, at vi skal have mere forskning, og da regeringen i sit forslag til finanslov for 2018 lagde op til øgede forskningsbevillinger, var de første kommentarer, at stigningen var alt for uambitiøs.

Men ifølge professor Daniel Sarewitz fra Arizona State University er "mere forskning" ikke i sig selv et gode, for en stor del af forskningen er ubrugelig eller direkte forkert. Det er et ofte gentaget mantra, at videnskaben er selvkorrigerende, fordi forskningen reproduceres, og forkerte resultater bliver rettet. Men ifølge Sarewitz betyder det store volumen, at de selvregulerende mekanismer ikke længere fungerer.

Sarewitz har fremført sin kritik gennem flere år, men vakte opsigt med et langt essay sidste år i tidsskriftet *New Atlantic* under overskriften *Saving Science*. Han underbygger sin kritik med eksempler, der især kommer fra sundhedsvidenskab, psykologi og biomedicin. I 2009 viste en undersøgelse fra Oxford Universitetet, at omkring 85 % af den biomedicinske forskning af den ene eller anden grund må betegnes som spildt. Det betyder, at vi globalt spilder 200 milliarder dollars om året på biomedicinsk forskning, som ikke kan bruges, og hvor problemet samtidig er, at forskerne ofte ikke ved, hvilke resultater der er forkerte. Der er nemlig ikke prestige i at reproducere resultater og heller ikke større interesse for negative resultater. En stor undersøgelse fra University of Edinburgh har vist, at på tværs af videnskaberne er andelen af publikationer med negative resultater halveret mellem 1990 og 2007.



Jens Olaf Pepke Pedersen er seniorforsker på DTU Space, hvor han blandt andet forsker i klimaændringer. Han er også medlem af fagpanelet for Aktuel Naturvidenskab. jopp@space.dtu.dk

Forvirring frem for klarhed

Situationen har flere årsager, men en af dem er, at der er fokus på kvantitet i stedet for kvalitet. Forskerne bedømmes på antallet af publikationer, og hvor ofte de bliver citeret af andre forskere, ligesom universiteterne konkurrerer om forskningsmidler ved at overdrive de resultater, der kommer ud af forskningen. Det fremmer en kultur, hvor forskerne hele tiden skal komme med nye og banebrydende resultater, og det går ud over kvaliteten. Påstanden støttes af en undersøgelse blandt 1500 forskere, der blev offentliggjort i *Nature* sidste år, og som viste, at 80 % af forskerne selv mente, at presset for at publicere artikler underminerede den videnskabelige metode, fordi det førte til selektiv publicering af data (hvor fx kun positive tests bliver rapporteret), dårlige statistiske analyser og manglende indsats med at gentage forsøgene. Svarene tyder på, at problemerne er størst indenfor medicin, miljø og klima, mens kemikere og fysikere generelt har større tillid til deres eget felt. At resultater kan reproducere burde være videnskabens adelsmærke, men jeg har selv gennem årene læst i hundredevis af klimaartikler, hvor der nærmest er garanti for, at resultaterne aldrig bliver efterprøvet, fordi de afhænger af en model eller en behandling

af datasæt, hvor detaljerne ikke er eller bliver tilgængelige. I mange tilfælde ville det heller ikke være umagen værd, fordi artiklerne i bedste fald bidrager minimalt til den eksisterende viden, og således skaber denne overproduktion forvirring i stedet for klarhed.

I teorien skulle peer-review systemet sikre kvaliteten, men mængden af publikationer betyder, at kontrollen ofte svigter. I 2013 sendte biologen John Bohannon fra Harvard over 300 udgaver af en artikel, som med vilje var fyldt med oplagte fejl i metode, analyse og konklusioner, til forskellige tidsskrifter. Over halvdelen af tidsskrifterne accepterede artiklen, ofte med meget få kommentarer.

Et skridt i den rigtige retning

Det førende medicinske tidsskrift *The Lancet* har i en artikelserie i 2014 *Increasing Value, Reducing Waste* taget hul på diskussionen om, hvordan man reducerer omfanget af spild, blandt andet ved større transparens i forskningen, bedre og mere fuldstændig afrapportering af forskningsresultater, nemmere adgang til data, mere omhu i gennemgang af eksisterende viden, ændringer i belønningssystemet for forskere osv.

Det er nærliggende at sige, at det i sidste ende er forskernes ansvar, at deres forskning reelt bidrager med ny viden, men det løser ikke problemet. Forskerne vil næppe se det som en karrierefremmende strategi at publicere få artikler af høj kvalitet, og risikoen er, at de forkerte forskere sorteres fra. Da Peter Higgs modtog Nobelprisen i fysik i 2013 udtalte han, at han havde publiceret så få artikler, at han i dag næppe ville få en universitetsansættelse. I de seneste år har blandt andet Carlsberg-fondet fået øget fokus på, at forskerne skal udvise social ansvarlighed og sørge for, at deres forskning omsættes til et samfundsmæssigt udbytte. Det er et skridt i den rigtige retning, men forskning har også værdi, selvom den ikke sigter på at løse et aktuelt problem. Derfor er det en opgave, der omfatter både fonde, tidsskrifter, universiteter og forskerne. ■

indhold



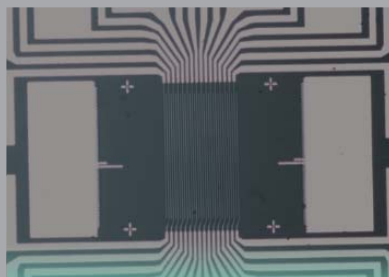
Tab af genetisk variation: Hvor mange individer af en given art skal der egentlig til for, at en population kan opretholde en tilstrækkelig genetisk variation i det lange løb?

8



Megen forskning og teknisk udvikling er i dag rettet mod at forebygge og behandle aldersrelaterede sygdomme og hjælpe den aldrende befolkning med at opnå en sund alderdom og et værdigt liv. Interessen for den type forskning og innovation vil kun øges i fremtiden.

27



Hvis man kan erstatte silicium med organiske molekyler i computerchips, vil det bane vejen for langt mere fleksible og miljøvenlige chips. Det kræver, at man populært sagt kan sætte ledninger på de organiske molekyler. Den videnskabelige "nød" vil Kasper Nørgaard og kolleger gerne knække.

34



Hundrede tusinde små søer på under en hektar ligger spredt ud over det danske land. De udviser ekstreme variationer i temperatur, opblanding og vandkemi, som udfordrer organismernes tolerance og kalder på særlige tilpasninger.

16

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 Kort Nyt
- 8 Flaskehalse – når genetisk variation går tabt
- 13 Ulvehegn der virker
- 16 Små søer – talrige, oversete og oplagte studieobjekter
- 23 De danske havuhyrer
- 27 Jagten på den gode alderdom (2. del)
- 34 På vej mod organiske computerchips

PERSPEKTIV - DEBAT

- 2 Synspunkt:
For meget forskning?
- 40 Bøger og service
Boganmeldelse:
7 ting vi plejer at tro på
- 44 BAGSIDEN:
Hun trækker i trådene

AKTUEL NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

- Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Det Naturvidenskabelige Fakultet samt Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- Roskilde Universitet

Ansvarshavende

Søren Rud Keiding, prodekan, Science & Technology, Aarhus Universitet

Redaktion

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

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



AALBORG UNIVERSITY
AALBORG ESBJERG COPENHAGEN



AARHUS
UNIVERSITET



KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET



DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



DET TEKNISKE
FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-
ABONNENTER



3D-teknologi til knæoperationer

I Danmark får 10.000 patienter hvert år indopereret et kunstigt knæ på grund af blandt andet slidgigt. En stor del af disse patienter oplever gener efter operationen og nogle i så høj grad, at de må gennemgå en ny operation. Den tendens skal en ny 3D-teknologi, der er udviklet af biomekanik-forskere på Aalborg Universitet (AAU), nu lave om på.

En stor del af de mange genoperationer skyldes, at knæleddet efter operationen enten bliver for løst eller for stramt i forhold til, hvad det var, før protesen blev indopereret. I dag er metoderne til at vurdere knæets løshed inden operationen meget simple og bygger primært på røntgenbilleder i 2D. Men et knæs løshed kan kun vurderes i 3D, og det er netop den teknologi, som forskerne på AAU har udviklet.

Løsheden af et knæ kan beskrives ved at måle, hvor meget lårbenet eller skinnebenet forskydes og roteres relativt til hinanden, når der påføres en kendt kraft til den ene, mens den anden holdes fast. Ved at påføre kræfter i forskellige retninger, kan man skabe et overblik over, hvor stramt/løst knæet er.

Forskerne har udviklet en avanceret 3D-teknologi, som kombinerer flere forskellige teknikker. En EOS-scanner optager to vinkelrette, lavdosis, røntgenbilleder (fx et forfra og et fra siden), mens et såkaldt artrometer benyttes til at pålægge en kraft på underbenet, mens

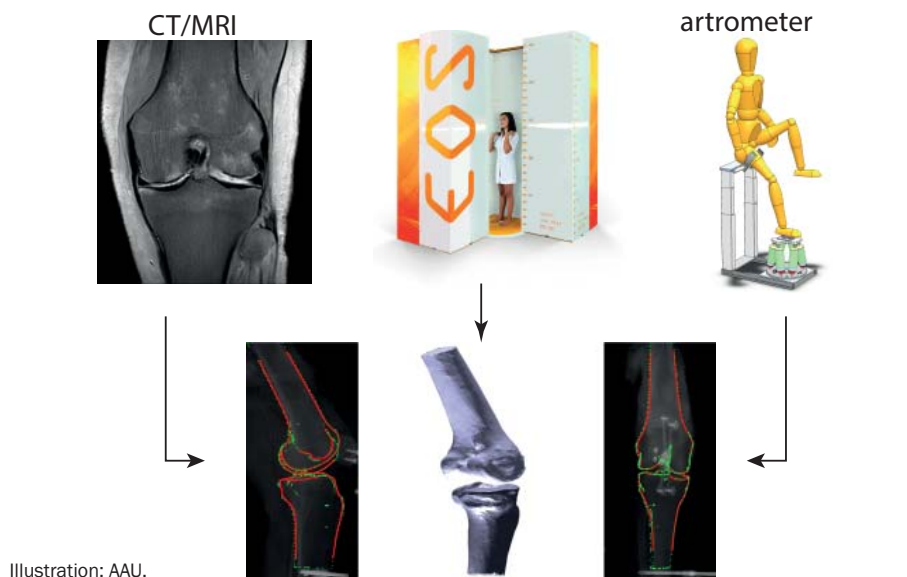


Illustration: AAU.

låret holdes fast. Ud fra disse målinger opnås 2D-røntgenbilleder for hver belastningssituation, men det er ikke muligt at vurdere, hvor meget knoglerne har flyttet sig i forhold til hinanden. Derfor benytter forskerne CT/MRI-scanninger til at skabe en 3D geometrisk repræsentation af knoglerne, som derefter registreres til røntgenbillederne via en optimeringsalgoritme. Algoritmen finder den position og orientering af knoglerne, der giver det bedste match mellem de målte konturer af knoglerne i de to røntgenbilleder og virtuelt genererede røntgenbilleder. På den måde kan man afdække, hvor knoglerne har befundet sig i rummet, mens røntgenbillederne blev taget. Som det sidste skridt udregnes 3D forskydning-

gerne samt rotationerne af lårbenet relativt til skinnebenet i et anatomisk koordinatsystem.

»Denne nye viden kan lægerne så bruge til at tilrettelægge operationen og ikke mindst vælge den rette protese, så man i fremtiden kan reducere antallet af genoperationer,« fortæller Michael Skipper Andersen, der er lektor på Institut for Materialer og Produktion på AAU. »Vi ønsker at bringe en mere nuanceret viden om patientens knæled i spil, allerede når operationen planlægges. Det gør det muligt at vælge, hvilken knæprotese der egner sig bedst til den pågældende patient.«

Sanne Holm Nielsen, AAU

Forskere “slukker” for virus i grise

Menneskets og svinets organer ligner hinanden så meget, at det – i hvert fald i princippet – burde være muligt at udnytte grise som organdonorer i situationer, hvor der ikke er organer fra mennesker til rådighed. En af de konkrete bekymringer er, at vira, der er indlejret i grisens arvemateriale, såkaldte endogene retrovirus, kan tænkes at inficere mennesker, der modtager et organ fra en gris. Nu har Luhan Yang fra biotek-virksomheden eGenesis i Cambridge, Massachusetts og kolleger tilsyneladende fundet en måde at rydde netop denne bekymring af vejen. Ved at sprøjte et genre-



Foto: eGenesis

digeringsystem baseret på “gensaksen” CRISPR-Cas9 ind i celler fra svin lykkedes det forskerne at inaktivere samtlige kopier af

endogene svine-retrovirus i cellerne. Herefter overførte de cellekernerne fra disse celler til svine-embryoer, som blev implanteret i søer (hvis genomer indeholdt endogene svine-retrovirus). Da de små grise blev født, kunne forskerne konstatere, at 100 % af de endogene retrovirus i smågrisenes celler stadig var inaktiveret. På den måde har forskerne frembragt en stamme af virus-fri grise, som vil kunne bruges til videre at udvikle svin med menneskelige organer til organtransplantationer.

CRK, Kilde: Science, DOI: 10.1126/science.aan4187

Fugl med supersanser

Ikke meget kan overraske fedtfuglen. Den har superskarpe sanser, og de fungerer på en måde, der måske kan give os bedre droner og mere avanceret teknologi. Alle dyr kombinerer input fra de sanser, de har til rådighed. Men hvor de fleste typisk har et eller to særligt følsomme sanse-systemer, udmærker fedtfuglen sig ved tilsyneladende at være skarp på alle fronter. Ud over sin ekstremt følsomme synssans har den en fortrinlig lugtesans og følelser ved næbbet – og så bruger den sin høresans til ekkolokation, som ellers næsten kun ses hos flagermus og tandhvaler.

»Dette komplekse sanseapparat, hvor dyret kan kombinere input fra så mange veludviklede sanser, er interessant at studere,« siger biolog Signe Brinkløv, SDU, hvis studie af fedtfugle for nylig er offentliggjort i *Royal Society Open Science*.

Som biolog er hun optaget af at forstå, hvordan fedtfuglen bruger sine sanser for at opnå de bedst mulige betingelser i sine naturlige omgivelser. Mere overordnet er hun fascineret af, hvordan viden om sanser kan bruges.

»Vi kan langt hen ad vejen forstå den enkelte sans. Men studierne bliver komplekse, når vi ser på, hvordan sanserne supplerer hinan-



Indgangen til en hule i Trinidads regnskov, hvor forskerne målte på fedtfuglenes ekkolokation.

Foto: Signe Brinkløv. Indsat foto af to fedtfugle: Erik Gropp/Wikimedia Commons/CC-BY-2.0

den, og hvordan balancen mellem forskellige sanseinput påvirker dyrets adfærd, når det løser forskellige udfordringer. Kan vi lære mere om det, kan vi måske overføre den viden til teknologisk udvikling,« siger hun.

Et eksempel er samspillet mellem synssansen og høresansen, som dyret bruger, når det ekkolokaliserer ved at udsende lyde, som kastes tilbage af omgivelserne, så afstanden til for eksempel et fødeemne eller en klippevæg kan bedømmes.

»I dag styres droner ofte manuelt af en dronefører, der er afhængig af videooptagelser fra dronen og dermed synssansen. Men det kan være svært at navigere med et sådant system i for eksempel mørke. Hvis man derimod kunne koble både synssansen og ekkolokalisering på en drone, så den navigerer efter input fra begge systemer, åbner det nye muligheder for optimering,« siger Signe Brinkløv.

Birgitte Svennevig, SDU. Kilde: *Royal Society Open Science*, Open DOI: 10.1098/rsos.170255

Kunsten at måle en sej væske

Efter 10 års arbejde er det lykkedes Tina Hecksher og Jeppe Dyre fra forskningscentret Glas og Tid ved RUC i samarbejde med forskere fra MIT i USA at måle en silikoneolies egenskaber over både meget korte og meget lange tidsskalaer. Forskerne har kombineret syv forskellige eksperimentelle metoder i bestræbelserne på at måle sejheden af en silikoneolie, efterhånden som den blev nedkølet. Udfordringen er, at sejheden afhænger stærkt af, hvilken tidsskala man måler over. Derfor har forskerne selv måtte udvikle flere af de målemetoder, de har anvendt i studiet, der for nylig er publiceret i tidsskriftet *PNAS*.

At kunne studere væskers opførsel med præcise målinger er helt afgørende for at få



Tina Hecksher i laboratoriet. RUC-forskerne har målt på silikoneolien i det lave frekvensområde fra 1 millihertz til omkring 1 MHz, mens MIT-forskerne har målt fra 1 MHz op til 1 THz.

Foto: Hanne Engelstoft

den fulde forståelse af stoffers egenskaber. Mange stoffer, for eksempel glas og plastik, er hårde, når de deformeres pludseligt, men flyder efter nogen tid, hvis man fortsætter trykket på dem. Det er derfor vigtigt at kunne måle et stofs egenskaber over mange forskellige tidsskalaer, fra timer over sekunder og millisekunder helt ned til picosekunder. Med de nye resultater har forskerne fra RUC og MIT nu vist, at det er muligt at lave detaljerede målinger over hele dette tidsspænd med ganske få ”huller”. Deres data fra eksperimenterne med silikoneolien bekræfter blandt andet en teori om sammenhængen mellem væskens egenskaber på korte og lange tidsskalaer, som før kun er blevet testet indirekte.

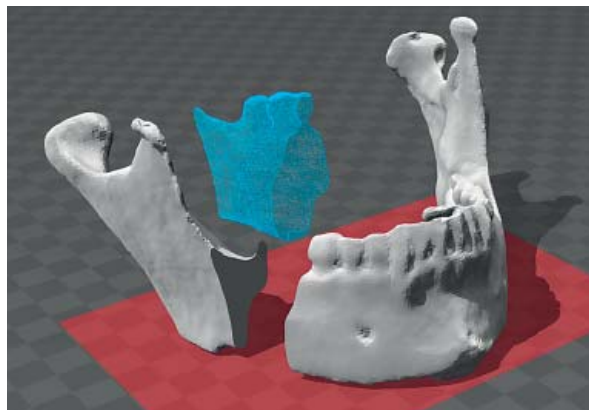
Kilde RUC/PNAS doi: 10.1073/pnas.1707251114

Forskere 3D-printer levende knogler

Forskere fra SDU har med succes 3D-printet knogler, som både i form og materiale er så naturtro, at de snyder kroppen til at tro, at det er egne knogler. Knoglerne har hulrum som rigtige knogler. Samtidig bliver de printet i et materiale, som er tæt på knoglers naturlige byggesten.

»Vi har vist, at vi kan skabe levende knogler. I museforsøg erstattede vi en del af musens kranieskal med en 3D-printet knogle, og knoglen groede naturligt sammen med musens øvrige kranieskal. Vi så endda, at den 3D-printede knogle er i stand til at danne marv,« siger lektor Morten Østergaard Andersen fra SDU Biotechnology. Sammen med to ingeniørstuderende i velfærdsteknologi har han udviklet det kunstige knoglemateriale.

Resultaterne fra museforsøgene viser, at



musens egen kranieknogle accepterer den kunstige knogle og spiser sig ind på den kunstige knogle, som forsvinder med tiden. For at hjælpe processen på vej pøder forskerne knoglestykket med stamceller. De nye implantater er godt nyt for de mange patienter, som hvert år får behov for en knogletransplantation. Lægen kan scanne patienten og via billederne sætte 3D-printeren til at printe

et implantat, som passer perfekt til den enkelte patient.

»Jeg tror så meget på mulighederne i de nye knogler, at vi faktisk har enkelte patienter, hvor det vil være en fordel for patienten, at vente med at få rekonstrueret sin kæbe, til de kunstige knogler er godkendt til kliniske forsøg,« siger ledende kæbekirurg Torben H. Thygesen fra kæbekirurgisk afdeling på Odense Universitetshospital.

Hele ideen om knoglerne begyndte som et bachelorprojekt for to ingeniørstuderende i velfærdsteknologi. Torben H. Thygesen satte Casper Slots og Martin Bonde Jensen på en opgave. Nemlig at finde frem til et kunstigt knoglemateriale som 3D-printeren kan bruge – som er stærkt, som kroppen accepterer, og som på sigt forsvinder igen.

Birgitte Dalgaard, SDU TEK kommunikation

Skod-asfalt

Et team af forskere fra RMIT University i Melbourne, Australien, har eksperimenteret med at udvikle en asfalt, der er blandet op med cigaretskod. De har fundet, at deres skod-asfalt både kan klare tung trafik og har mindre varmeledningsevne end normal asfalt. Det vil sige, at en sådan asfalt både kan hjælpe med at løse et konkret affaldsproblem og reducere varmeabsorption fra bebyggede overflader, der har den effekt, at byer kommer til at virke som "varmehøer" i landskabet.



Cigaretskod er en af verdens mest almindelige typer affald. Men de kan trods alt bruges i vejbelægninger, har australske forskere fundet ud af. Foto: colourbox

Filteret på en cigaret er designet til at fange hundredvis af skadelige stoffer, og det gør den lille cigaretstump til et koncentreret miljøproblem i miniformat. På verdensplan produceres der årligt cirka 1,2 millioner tons affald i form af cigaretskod. Dr. Abbas Mohajerani, som leder forskningsgruppen, har i mange år forsket i, hvordan man kan afhjælpe problemet med forurening fra cigaretskod. Sidste år vakte forskerne opsigt

med en metode til at genbruge cigaretskod i mursten. Det nye projekt eksperimenterede de med at indkapsle cigaretskoddene i enten bitumen (et bindemiddel baseret på råolie, der bruges i vejbelægninger) eller paraffinvoks for at undgå, at kemikalier fra skoddene lækker ud i asfalten. Derefter blev de indkapslede cigaretskod blandet med varm asfalt i mængder på 5-15 kg skod per kubikmeter asfaltblanding.

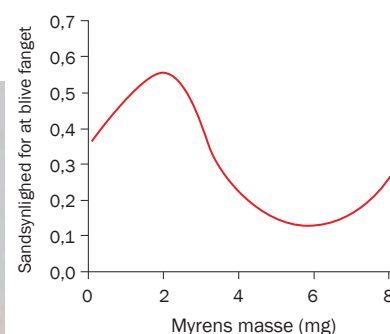
asfalten lettere og mere porøs.

Ifølge forskerne vil de indkapslede cigaretskod også kunne bruges som et bygemateriale i andre sammenhænge end vejbyggeri.

CRK, Kilde: Journal of Construction and Building Materials. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.091

Myrer på kanten

Myløver er larver af en gruppe insekter kaldet netvinger. Myreløver ligger på lur i bunden af små fordybninger i sand, som de selv har gravet. Når en myre uforvarende kommer ned i en sådan fordybning, kan den ofte ikke kravle op igen, men glider ned på bunden til den sultne myreløve. I et nyt studie i *Physical Review Letters* kaster Jérôme Crassous fra Université de Rennes, Frankrig, og kolleger lys over, hvad der rent fysisk foregår på en sådan skrånende overflade af sand ved at teste sammenhængen mellem et objekts masse og dets tilbøjelighed til at skride ned ad en sandskråning. Forskerne eksperimenterede med små metalskiver dækket af pap, som de placerede på en skråning af millimeterstore glaskugler. De monitorerede derefter bevægelsen af skiverne på skråningen samt den deformation af sandet, som tilstedeværelsen af de forskellige skiver gav anledning til. Da hældningen på siderne af myreløvernes fordybninger svarer til "lavinevinklen" (det vil sige den hældning af sandet, hvor den mindste forstyrrelse kan udløse skred) undersøgte forskerne deres glaskugleskrænter tæt på denne vinkel. Forskerne fandt ikke overraskende, at sandsynlighe-



Kurven viser sandsynligheden for, at en myre bliver fanget i myreløvens fælde som funktion af myrens vægt. Foto: En myreløve i al dens vælde. Foto: Joseph Berger/©Bugwood.org/CC-BY-3.0-US

den for, at en skive skrider ned til bunden af skrænten stiger, jo tættere skræntens hældning nærmer sig lavinevinklen. Mere overraskende er, hvordan denne sandsynlighed afhænger af det tryk, som en skive udøver på skrænten, altså af skivens masse. Frem for at være uafhængig af massen, fandt forskerne, at for en given vinkel, er sandsynligheden for, at skiven skrider nedad størst for bestemte tryk i "mellemstørrelse".

I et selvstændigt forsøg målte forskerne friktionskræfterne på objekter, der bevægede sig

på en horisontal, sandet overflade. I overensstemmelse med deres skræntforsøg fandt de, at de laveste friktionskoefficienter blev observeret for objekter, der udøvede et lille, men ikke meget lille, tryk på underlaget.

Resultaterne kan siges at være dårligt nyt for myrer af mellemstørrelse, som kan se deres tungere eller lettere artsfæller undslippe fælden, mens de selv ender i myreløvens klosakse.

CRK, Kilde: J. Crassous et al. *Phys. Rev. Lett.* 119, 058003 (2017)

Vandplanter spirer i "spøgelsesdamme"

Den biologiske mangfoldighed går tilbage med rivende hast i det intensivt dyrkede landskab i Europa. Det gælder også vandplanter, der tidligere voksede i lavvandede søer og damme, som nu er blevet fyldt op og afvandet, da området overgik til intensiv dyrkning. Men alt er ikke nødvendigvis tabt for stedse.

I en ny engelsk undersøgelse identificerede engelske forskere på gamle kort tre damme, som forsvandt for mellem 150 og 45 år siden og derefter havde ligget begravet under intensivt dyrkede marker. Da de udgravede dammene ned til den oprindelige bund, spirede mindst ti arter af større vandplanter hurtigt frem fra frø og sporer – og det artsantal svarer til, hvad der normalt vokser i intakte damme. Spiringen var bedst, hvor dammene var blevet begravet uden først at være tørlagte.



Korsarve (her fra Umeälven, Sverige) er en lille plante, der vokser på åben, tidvis overskyttet bund. Foto Jens Chr. Schou.

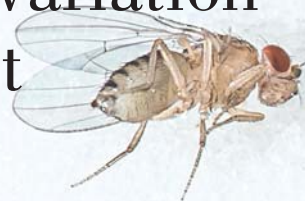
Det har været kendt, at sporer af kransnållager kan overleve i muddret i mindst 300 år. Otte sådanne arter dukkede da også op af "spøgelsesdammene". Men at blomsterplanterne Almindelig Vandranunkel og Svømmende Vandaks dukkede op fra overlevende frø, var en stor overraskelse.

Studiet har inspireret os til i denne sommer at grave 30 cm ned gennem græs og jernholdigt mudder og hente nogle spandfulde jord op af den oprindelige søbund ved indløbet til Filsø. Området husede frem til start 1990'erne den eneste større danske bestand af Korsarve. Vi undersøger nu, om denne "uddøde" art i landet monstro kan vækkes fra de døde og påny spire frem.

Kaj Sand-jensen, Københavns Universitet. Kilde: E. Alderton et al. *Biological Conservation* 212 (2017) 105–110

FLASKEHALSE

- når genetisk variation
går tabt



Hvor mange individer af en given art skal der egentlig til for,
at en population kan opretholde en tilstrækkelig genetisk
variation i det lange løb?

Alle højerestående organismer har to kopier af ethvert gen i deres DNA – typisk en kopi fra moderen og en fra faderen. Hvis disse kopier ikke er ens, taler man om genetisk variation indenfor individet. På samme måde kan man tale om genetisk variation mellem individer inden for en art. Og genetisk variation er vigtigt, da det populært sagt er den ressource evolutionen trækker på, når arter løbende tilpasser sig ændringer i miljøet eller nye sygdomme.

Men hvor mange individer af en given art skal der egentlig til for, at en population kan opretholde en tilstrækkelig genetisk variation i det lange løb? Det er et spørgsmål, der både er videnskabeligt og praktisk interessant.

Mange pattedyrarter er nu, eller har været, kraftigt reduceret i populationsstørrelse til under 500 individer. Det skyldes bl.a., at en meget stor del af jordens naturlige habitater er forsvundet, og de habitater, der er tilbage, er kraftigt fragmenterede. Det betyder, at pladskrævende arter som den europæiske bison har haft det svært, fordi populationen bliver isoleret i mindre habitater uden mulighed for at migrere til nye habitater.

Ved Sektion for Genetik, Økologi og Evolution ved Aarhus Universitet har vi ved hjælp af bananfluer af arten *Drosophila melanogaster* undersøgt, hvad "flaskehalse" i populationsstørrelsen betyder for den genetiske variation. Bananfluer er velegnede til en sådan undersøgelse da de, til forskel fra fx bisoner, er nemme at holde i laboratoriet og har en meget kort generationstid (to uger). Derudover er bananfluens genom blevet kortlagt og undersøgt grundigt, hvilket danner et godt grundlag for yderligere undersøgelser.

Fra frugtplantage til flue-DNA

Vi fangede 600 befrugtede hunner fra en naturlig population ved Karensminde frugtplantage i Østjylland og etablerede ud fra disse en laboratoriepopulation. Fra denne etablerede vi 42 nye populationer, som hver især blev holdt på en konstant populationsstørrelse på 10 individer, 50 individer eller 500 individer. Disse populationsstørrelser repræsenterer forskellige flaskehalse.

Vi vedligeholdt bananfluerne ved disse populationsstørrelser i 20 generationer, og i hver femte generation afkodede vi deres DNA. Ud fra det indsamlede DNA-data kunne vi estimere den genetiske variation

i hver enkelt af de 42 populationer i generation 5, 10, 15 og 20. Den genetiske variation måles som den gennemsnitlige parvise forskel mellem DNA-sekvenser i en given population, et mål som ofte kaldes nukleotid-diversitet eller Tajimas π – vi vil dog her holde os til den mere populære term genetisk variation.

Vores resultater viser, at de små populationer (med 10 individer) taber genetisk variation med meget høj rate sammenlignet med de store populationer på 500 individer. De mellemstore populationer (med 50 individer) taber væsentligt mindre genetisk variation end de små populationer i forhold til de store. Men også i de store populationer på 500 individer observerede vi et lille tab af genetisk variation over 20 generationer. Det sætter spørgsmålstegn ved, om selv 500 individer i en population er nok til at bibeholde tilstrækkelig genetisk variation i det lange løb. Det store tab i genetisk variation er således en direkte konsekvens af den lave populationsstørrelse, og for hver generation bliver tabet og dermed konsekvenserne for en given population større. Sammenhængen mellem populationsstørrelse og tab af genetisk variation skyldes, at en lavere populationsstørrel-

Om forfatterne



Mads Fristrup Schou er postdoc og forsker i indavl og miljø interaktioner og i insekters tilpasning til ekstreme temperaturer.
mads.schou@bios.au.dk



Jesper Bechsgaard er postdoc og forsker i genetiske effekter af ændringer i parringssystemer hos edderkopper.
jesper.bechsgaard@bios.au.dk

Begge ved Sektion for Genetik, Økologi og Evolution, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet



Foto: Jesper Buch Rais.

Betydningen af genetisk variation

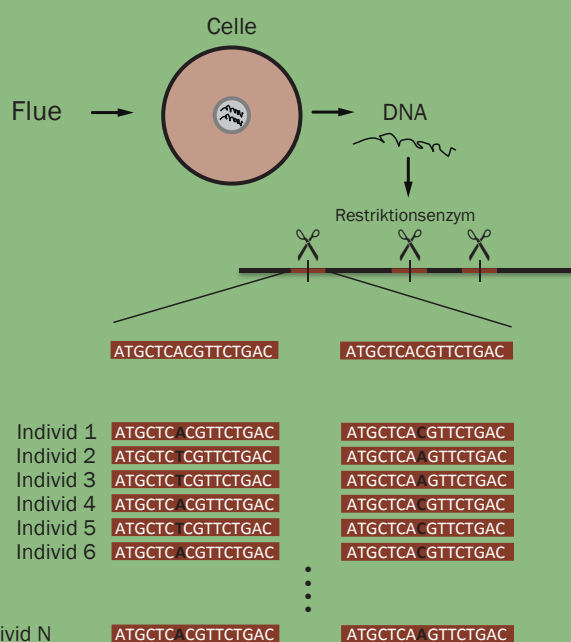
Genetisk variation er vigtig for overlevelsessevnen og forplantningsevnen (det som tilsammen kaldes fitness) for både individer og arter. Eksempelvis kan det for en række vigtige gener være en fordel for individet at have to forskellige varianter i sin arvemasse. Det gælder fx gener, der er involveret i immunsystemets genkendelse af virus og bakterier, da det øger sandsynligheden for, at immunsystemet vil genkende de indtrængende ballademagere.

I et større perspektiv kan den genetiske variation indenfor en art være altafgørende, hvis miljøet ændrer sig (fx en ny istid) eller hvis nye vira spredt sig. Genetisk variation indenfor arten vil i sådanne tilfælde øge sandsynligheden for, at der findes varianter af gener, som gør arten modstandsdygtig overfor disse trusler. Disse varianter vil så blive selekteret for og sprede sig i arten.

RAD-sekventering

I vores undersøgelser med bananfluer og edderkopper har vi undersøgt den genetiske variation ved hjælp af såkaldt RAD-sekventering. Her bruges et "klippe-enzym" (restriktionsenzym) til at opdele kromosomerne i mindre DNA-streng, som så sekventeres i hver ende, dvs. vi kortlægger rækkefølgen af basepar.

Der sekventeres cirka 45 basepar i hver ende, og resultatet er dermed, at der bliver sekventeret ca. 90 basepar for hvert sted, hvor enzymet klipper kromosomet. Enzymet klipper kun kromosomet i tilfælde af en bestemt rækkefølge af seks på hinanden efterfølgende baser. Klippingen er dermed tilnærmelsesvis tilfældig hen over kromosomet, og antallet af klip afhænger primært



af kromosomets længde. Fordelen ved RAD-sekventering i forhold til at sekventere hele genomet er, at man

får repræsentative sekvenser spredt ud over hele genomet, samtidig med at datamængden holdes nede.

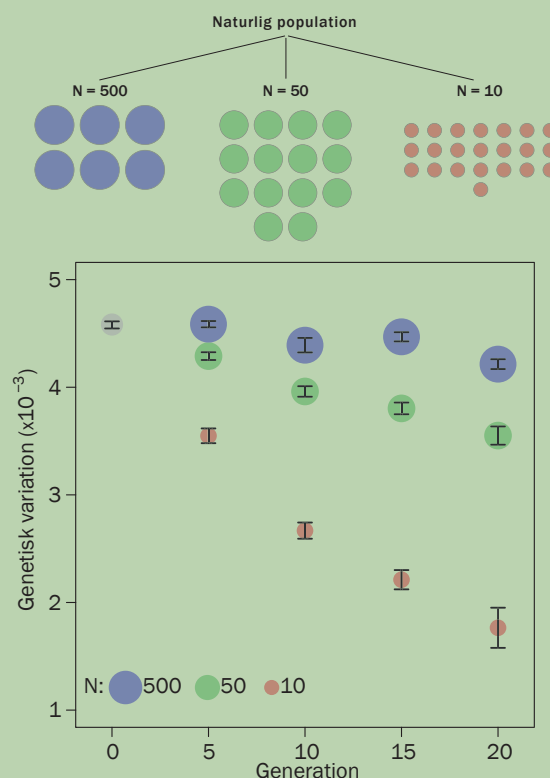


Forsøg med bananfluer

I vores forsøg med bananfluer blev 42 laboratoriepopulationer af *D. melanogaster* holdt ved forskellige faktiske populationstørrelser ($N = 10$, $N = 50$ og $N = 500$) i 20 generationer. Hver population blev holdt med et lige antal hunner og hanner i samtlige generationer. I hver femte generation blev alle 42 laboratoriepopulationer RAD-sekventeret (se boks).

Den genetiske variation blev estimeret som den gennemsnitlige parvise forskel mellem to DNA-sekvenser. Dermed kunne ændringen i den genetiske variation som konsekvens af den faktiske populationsstørrelse følges over 20 generationer.

Foto: Lars Aarø.



se fører til større tilfældigheder i overførslen af genetisk variation mellem generationer, dette kaldes en øget tilfældig genetisk drift.

Sociale edderkopper

I forhold til at opretholde genetisk variation er det dog ikke kun den faktiske populationsstørrelse – dvs. antallet af individer – der er interessant. Arternes biologi har også betydning, og i nogle ekstreme tilfælde er biologien altafgørende.

Ligesom bananfluer er de fleste edderkoppearter solitære, hvilket betyder at de lever det meste af deres liv alene uden samarbejde med deres artsfæller. For de fleste arter er den eneste afvigelse fra en solitær livsform, at de få gange i deres liv opsøger en mage for at parre sig. Nogle få edderkoppearter (ca. 25 ud af 45.000) har imidlertid udviklet social adfærd, hvilket indebærer at flere hundrede individer lever sammen i reder hele deres liv. Disse edderkopper samarbejder om at bygge et kæm-

pe fangstnet, fange bytte, passe deres unger mm.

Flere faktorer i sociale edderkoppearternes biologi påvirker mængden af genetisk variation negativt:

- den sociale adfærd medfører stærk indavl (individerne i rederne er søskende),
- der er cirka 10 gange så mange hunner som hanner,
- under halvdelen af hunnerne får afkom,
- både reder og hele populationer har det, man kalder en høj turnover-frekvens (dvs. uddør og genetableres fra eksisterende reder/populationer). Det betyder, at den genetiske variation, der findes i de reder/populationer, der uddør, forsvinder.

Alle disse faktorer betyder, at den effektive populationsstørrelse, og dermed mængden af genetisk variation indenfor en koloni, reduceres dramatisk i forhold til de solitære arter og i forhold til den faktiske populationsstørrelse.

Edderkopper med en ende?

Edderkoppeslægten *Stegodyphus* omfatter ca. 20 arter, hvoraf tre uafhængigt af hinanden har udviklet social adfærd. De sociale arter lever udelukkende i tropiske områder (fx Indien, Sydafrika og Namibia), mens de solitære findes i både tropiske og subtropiske områder. For at bestemme, hvor meget den genetiske variation er reduceret pga. social adfærd i forhold til deres solitære søsterarter, har vi undersøgt DNA-variationen i 10 individer fra hver af 5 populationer i de tre sociale arter samt i deres søsterarter. Effekten af social adfærd viser sig at være yderst dramatisk, idet den genetiske variation er reduceret til ca. 10 % i forhold til deres solitære slægtninge. Det er på trods af, at alle de sociale arter har meget store faktiske populationsstørrelser.

Da genetisk variation som nævnt spiller en stor rolle for individers fitness samt arters tilpasningsevne, kan udviklingen af social adfærd hos edderkopper synes at være en

Tilfældig genetisk drift

Fra en generation til den næste er det tilfældigt, hvilken af de to genkopier fra hver enkelt forælder, der overføres til afkommet. Der er altså ligesom ved at spille plat og krone 50 % chance for, at afkommet arver en given genkopi fra en forælder. Som konsekvens af dette vil frekvensen af en given genvariant på tværs af alle individer i forældregenerationen ændre sig en smule i den næste generation. Dette ændrede forhold danner så grundlag for overførslen af genvarianter i næste generation, hvor der igen kan opstå små afvigelser. Denne tilfældige ændring i forholdet mellem genvarianter fra generation til generation kaldes *tilfældig genetisk drift*.

Som bekendt er sandsynligheden for, at det samlede antal plat og krone af flere møntkast afviger stærkt fra netop 50 % af hver, større jo færre møntkast, der er tale om. Omvendt vil fordelingen nærme sig 50 % ved et meget stort antal møntkast. Det gælder derfor, at jo flere individer, der produceres i en generation, jo tættere kommer fordelingen af genvarianter på den fordeling, der var i forældregenerationen.

Den tilfældige genetiske drift forventes således at være større i små populationer end i store, og dermed vil den tilfældige genetiske drift blive større, når naturlige po-

pulationer bliver mindre.

Men den genetiske drift kan også blive større af andre årsager. Det kan være, når parringen ikke er tilfældig i populationen (fx indavl), når der ikke er lige mange individer af hvert køn, eller hvis der er stor variation i antal afkom produceret pr. individ.

Når den tilfældige genetiske drift i en population stiger pga. årsager som de nævnte, siger man, at den effektive populationsstørrelse falder. Det betyder, at antallet af individer, som effektivt bidrager til næste generation, er mindre end den faktiske populationsstørrelse.

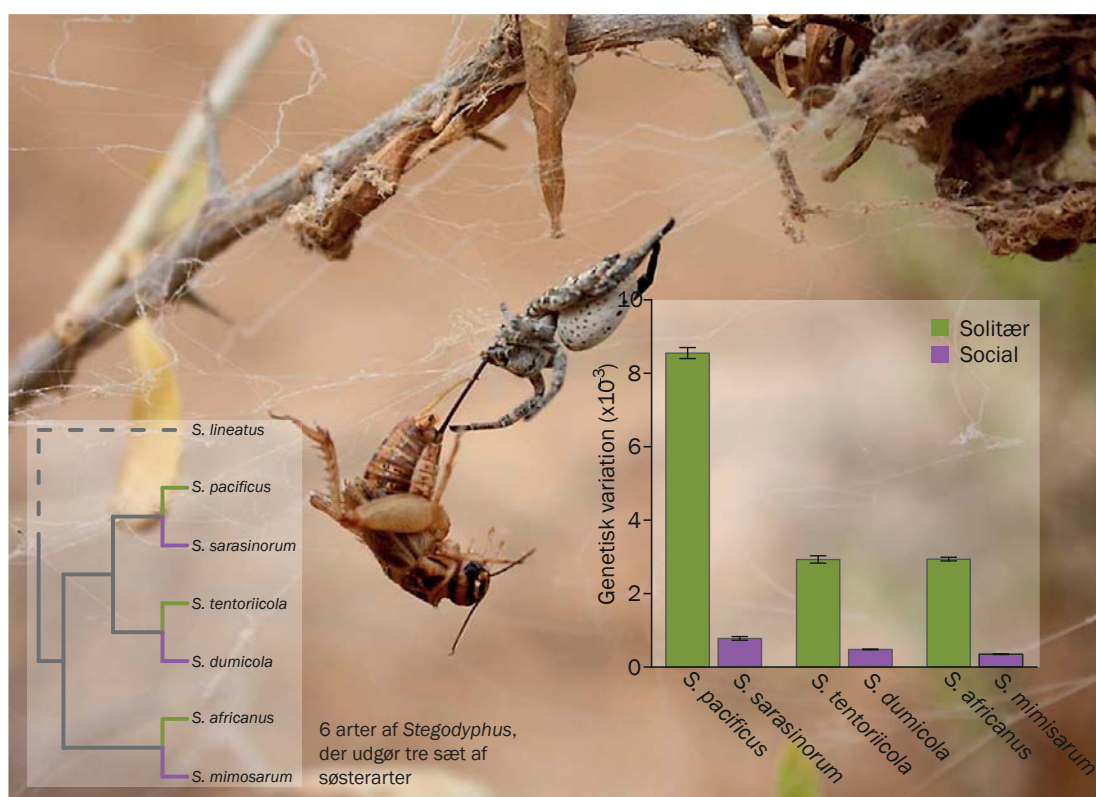


Foto: Christina Holm.

Figuren viser resultater af undersøgelser af edderkopper fra 6 arter af *Stegodyphus*, der i alt udgør tre sæt af søsterarter, hvor den ene art er social og den anden solitær. Der blev til undersøgelsen indsamlet ti individer fra mellem 3 og 5 populationer pr. art. Alle individerne blev

RAD-sekventeret, og den genetiske variation blev estimeret som den gennemsnitlige parvise forskel mellem to DNA-sekvenser. Resultaterne viser en dramatisk reduktion i den genetiske variation i de sociale arter i forhold til deres solitære søsterarter.

Videre læsning

Charlesworth B. 2009. Effective population size and patterns of molecular evolution and variation. *Nat. Rev. Genet.* 10:195–205.

Leffler EM, Bullaughey K, Matute DR, Meyer WK, Ségurel L, Venkat A, Andolfatto P, Przeworski M. 2012. Revisiting an old riddle: what determines genetic diversity levels within species? *PLoS Biol.* 10:e1001388

Reed DH, Frankham R. 2003. Correlation between fitness and genetic diversity. *Conserv. Biol.* 17:230–237

Schou MF, Loeschcke V, Bechsgaard J, Schlötterer C, Kristensen TN. 2017. Unexpected high genetic diversity in small populations suggests maintenance by associative overdominance. *Mol. Ecol.* In press. doi: 10.1111/mec.14262.

Settepani V, Schou MF, Greve M, Grinsted L, Bechsgaard J, Bilde T. 2017. Evolution of sociality in spiders leads to depleted genomic diversity at both population and species levels. *Mol. Ecol.* 26:4197–4210.

www.spiderlab.dk



Foto: Virginia Settepani.

Sociale edderkopper samarbejder om at nedlægge et større bytte.

“evolutionær blindgyde” i det lange løb. Man kan forestille sig, at sådanne sociale systemer opstår igen og igen, men at de relativt hurtigt uddør. Denne tolkning understøttes af det faktum, at der er relativt få arter, der lever på denne måde i

dag. Omvendt opstår sociale arter ikke tilfældigt over hele jorden, men i stedet i habitater, som er stabile over lang tid og som derfor muligvis ikke kræver den store genetiske variation til yderligere tilpasning.

Flere veje til en usikker fremtid

Eksemplerne med bananfluer og edderkopper, som vi har beskrevet i denne artikel, viser, at der er flere veje til en reduceret effektiv populationsstørrelse og dermed til øget genetisk drift og tab af genetisk variation. De sociale edderkopper har meget store faktiske populationsstørrelser, men deres sociale biologi er så ekstrem, at den faktiske populationsstørrelse ingen betydning har for den effektive populationsstørrelse. For disse arter er mangel på genetisk variation et naturligt vilkår, og vi kan kun gisne om, hvorvidt dette er holdbart i længden.

De fleste pattedyrarter har til sammenligning en biologi, som medfører, at den faktiske populationsstørrelse er den primære faktor for bestemmelsen af den effektive populationsstørrelse. Og som vores undersøgelser med bananfluer som modelorganisme viser, fører en lav populationsstørrelse til kraftig reduktion i den genetiske variation og dermed ligeledes til en usikker fremtid. ■

Naturvidenskab på Roskilde Universitet

Bliv studerende for en dag
Se ruc.dk/arrangementer-om-bacheloruddannelser



Hegn med strømførende gummitråd placeret 20-30 cm over jorden, opsat på ydersiden af hegnet i en afstand på 15 cm. Foto: C. Jensen.

ULVEHEGN DER VIRKER

Hvor højt og kraftigt skal et elektrisk hegn være for at beskytte husdyr mod ulve? Det har været emnet for et specialestudium ved Aalborg Universitet.

Om forfatterne



Camilla Jensen er cand. scient. i biologi og naturformidler ved Lille Vildmosecentret, Storvorde
camillajensen89@outlook.com



Sussie Pagh, ph.d., er forsker og forfatter Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet
sup@bio.aau.dk



Astrid Vik Strønen, ph.d. er adjunkt ved Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet
avs@bio.aau.dk

Kontaktperson:
avs@bio.aau.dk

Ulve har rekoloniseret Danmark, Tyskland og andre lande i Europa, hvor vilde ulve har været fraværende i flere hundrede år. Det betyder, at hverken landmænd eller husdyr har erfaringer med de store rovdyr. En fredelig sameksistens mellem ulve og mennesker kræver, at der hurtigt findes praktiske og økonomisk bæredygtige løsninger til at beskytte husdyr mod angreb fra ulve.

Ulve har været fredet i EU siden 1992 og er beskyttet af EU's habitatdirektiv og desuden dansk lovgivning efter jagt- og vildtforvaltningsloven. Det er dermed ikke tilladt at skade, dræbe eller indfange ulve. Hvis ulve forvolder skade på husdyr som får, lam, geder, kalve, føl, eller grise udstedes kompensation for tabet. Naturstyrelsen kan imidlertid i særlige tilfælde udstede dispensation til regulering af ulv.

Forsøg med hegn og ulve

Vi har i et specialeprojekt testet, hvor effektive forskellige hegnstyper er til at holde ulve ude for om muligt at finde den bedst mulige hegnstype til at beskytte husdyr. Vi testede blandt andet en helt nyudviklet strømførende gummi hegnstråd, Pinaldo RubberFence, som består af strømførende gummi med en kerne af syv meget tynde kobbertråde, som skulle vise sig at være et godt supplerende



Voksen ulv som kryber under hegnet. Fotos: C. Jensen.



Voksen ulv som hopper over hegnet. Foto: C. Jensen.

værn mod ulve. Udformningen betyder, at tråden ikke forventes at blive påvirket af vegetation eller at kortslutte ved kontakt med for eksempel vådt græs eller vand, hvilket erfaringsmæssigt er et problem for traditionelle strømførende hegn. Da gummitråden let rives over, reduceres skader på dyr, som eventuelt kommer til at sidde fast i hegnet.

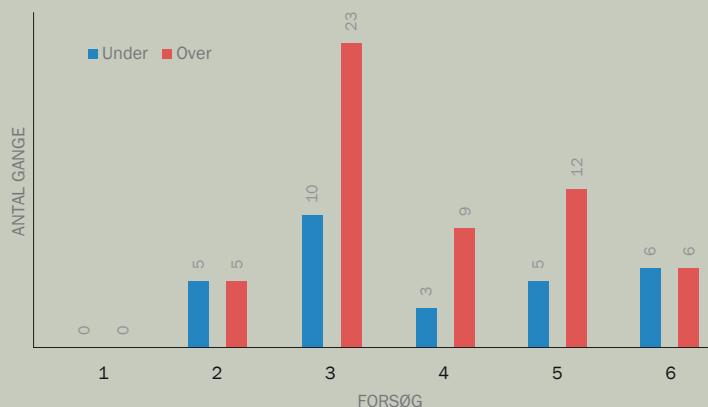
Til vore forsøg "lånte" vi 13 voksne ulve og deres hvalpe i Ree Park, Djursland. Ulvene, som blev brugt i studiet, var arktiske ulve, *Canis lupus arctos*, som gik i en indhegning på cirka 1 hektar. Inde i ulveindhegningen opsatte vi et lille eksperimentelt hegn på 10x10 m. Ulvenes bevægelser omkring forsøgshegnet blev monitoreret med tre automatiske vildtkameraer, som

blev udløst af dyrenes bevægelser. Om natten sørgede infrarød LED-lys for synlige fotos. At arktiske ulve er næsten hvide, gav en stor fordel under forsøget, da de var meget synlige på kameraerne om natten.

Tidligere studier af ulvehegn i Tyskland viste, at ulve ofte krøb under hegnet og sjældent hoppede over hegnet. Derfor forsynede vi i første omgang de traditionelle hegn med en strømførende gummitråd nederst på hegnet. To af forsøgshegnets sider bestod af et trådhegn med fem vandrette tråde placeret med cirka 15 cm afstand og en højde på 65-85 cm. Den nederste tråd på hegnet var 15-20 cm over jorden. De to øvrige sider var et 110-115 cm højt fårehegn med en trådnetsstørrelse på 15 x 15 cm. Den strømførende gummi-tråd blev sat på for nederen rundt om hele forsøgshegnet 20-30 cm over jorden i en afstand på cirka 15 cm afstand til hegnet. Da vi erfarede, at ulvene sprang over forsøgshegnet, satte vi endnu en strømførende gummitråd op cirka 20 cm ovenfor hegnet, hvorefter minimumshøjden på hegnet blev 85-105 cm.

Forsøgsdesign og resultater

Først opsatte vi forsøgshegnet og gav dyrene en uges tilvænning, hvorefter vi udførte seks forsøg. Ulvene var ikke sultne, da de under hele forsøget blev fodret efter deres sædvanlige foderplan. Vi ved ikke, hvor mange individer der krydsede hegnet, eller hvordan de lærte at hoppe over, men ulvene kan have lært det af hinanden. Ulvene er ikke tamme og deres alder og køn er ukendt. Ulveindhegningen i Ree Park er omtrent en hektar. Voksne ulve kom ind i hegnet under alle forsøgsopstillinger, undtaget forsøg 1, hvor der ikke var lokkemad indenfor forsøgshegnet. I de øvrige forsøg forcerede ulvene hegnet både ved at krybe under og ved at hoppe over hegnet. Hegnet udgjorde den bedste sikring, når der både var strøm til hegnet og den ekstra strømførende gummitråd opsat både for oven og for neden som i forsøg 6, hvor højden på hegnet var 85-105 cm. Vi observerede aldrig, at voksne ulve gik mellem hegnstrådene, eller at de forsøgte at presse sig igennem fårehegnet med trådnæt (hvilket heller ikke ville være muligt for dem).



Søjlerne viser, hvor mange gange en voksen ulv enten kravlede under (blå) eller hoppede over (rød) hegnet.

Forsøg (Hvert forsøg varede en uge):

1. Uden lokkemad og hegn uden strøm.
2. Lokkemad i forsøgshegnet, som var uden strøm.
3. Lokkemad og ingen strøm i hegn, men strøm i gummitråd nederst.
4. Lokkemad og strøm til såvel trådhegnet som gummitråden for neden på hegnet.
5. Strømmen blev fjernet fra gummitråden (men tråden var bibeholdt) for at se, om ulvene ændrede adfærd omkring tråden, når den ikke længere gav stød.
6. En ekstra gummitråd blev sat på toppen af hegnet, og der var strøm i hegnet såvel som begge gummitråde.

Højere hegn og højere spænding

Vores forsøg viser, at denne opsætning med en strømførende gummitråd henholdsvis 20 cm over og under det traditionelle fårehegn er et langt bedre værn mod ulve end det traditionelle hegn alene.

Da ulvene let sprang over forsøgshegnene i vores forsøg, anser vi ikke miljøstyrelsens anbefalede hegnshøjde på 90-100 cm for tilstrækkelig til at holde ulve ude, men anbefaler en hegnshøjde på 115-145 cm som et mere effektivt hegn mod ulve. Og med en strømførende gummitråd er det forholdsvis let at øge højden på eksisterende hegn.

Vi erfarede også, at spændingen på hegnet var vigtig. Den anbefalede spænding fastsat af Miljøministeri-

et er 2,5 kV. Men en spænding på mellem 2,4 – 4,7 kV afskrækkede ikke ulvene i vores forsøg, selv om de formentlig rørte ved tråden, når de kravlede under hegnet. Spændingen bør være på mindst 5 kV for at afskrække ulve effektivt.

Flere forsøg med ulvehegn

Resultaterne af vores undersøgelse skal selvfølgelig tages med det forbehold, at ulvene i vores forsøg var i fangenskab og mætte. Vilde ulve vil formentlig have en større motivation for at forcere hegnet end ulve i fangenskab, som fodres jævnlige. Desuden kan levende dyr i en indhegning aktivere ulvenes jagtinstinkt og dermed virke mere tiltrækkende på ulvene end den lokkemad (primært hestekød), som vi brugte i vores forsøg. Publikum kan i åbningstiden have haft indflydelse på ulvenes adfærd, men ulvene

havde mulighed for at forcere hegnet om natten, når publikum ikke var tilstede.

I fremtidige studier vil det være interessant at undersøge, i hvilken grad menneskelig og ikke mindst fårehundes aktivitet påvirker og muligvis forstærker effekten af beskyttelsesforanstaltninger som elektriske hegn. Og så bør det også undersøges, om det fugtige klima, som vi generelt har i Danmark og de øvrige vesteuropæiske lande kan have betydning for hegnets effektivitet, da våd vegetation og nedfaldne grene på strømførende tråde kan aflede og gøre hegnet ineffektivt. Jo bedre muligheder, der er for at sikre husdyr på en økonomisk og arbejdsmæssig bæredygtig måde, jo større mulighed for fredelig sameksistens mellem mennesker og ulve. ■

Tak

Vi takker Cino Pertoldi og ansatte ved Ree Park Safari for deres bidrag til studiet. Endvidere takker vi Aalborg Zoo Conservation Foundation for økonomisk støtte og Danmarks Jægerforbund for at stille vildtkameraer til rådighed for forsøget.

Litteratur

Jensen C (2015) Forebyggende og konfliktdæmpende metoder til problematikkerne i forbindelse med ulvenes tilbagekomst til Danmark. Specialestudie, Aalborg Universitet.

Levin M (2000) Electrical fence against large predators. *Carnivore Damage Prevention News*, 2: 6-7.

Miljøministeriet og Naturstyrelsen (2014) Forvaltningsplan for ulv i Danmark. http://naturstyrelsen.dk/media/nst/10450381/forvaltningsplan_ulv.pdf. 48 pp.

Miljøministeriet og Naturstyrelsen. Værd at vide om ulv for husdyrholdere. Folder, http://svana.dk/media/173464/ulve_husdyrholdere.pdf.

Reinhardt I, Rauer G, Kluth G, Kaczensky P, Knauer F, Wotschikowsky U (2012) Livestock protection methods applicable for Germany - a Country newly recolonized by wolves. *Hystrix, Italian Journal of Mammology*, 23(1): 62-72.

Van Liere D, Dwyer C, Jordan D, Premik-Banic A, Valencic A, Kompan D, Siard N (2013) Farm characteristics in Slovenian wolf habitat related to attacks on sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 144: 46-56.

Vidrih A (2002) Electric Fencing and Carnivore Damage Prevention. *Carnivore Damage Prevention News*, 5: 10 - 12.



SMÅ SØER

– talrige, oversete og oplagte studieobjekter

Vegetation af kransnålalger er meget tæt i denne lavvandede sø. I midten står stængler af tagrør. Foto Lars Lønsmann Iversen.

Kaj Sand-Jensen er professor
ksandjensen@bio.ku.dk

Mikkel René Andersen er postdoc
mrandersen@bio.ku.dk

Lars Lønsmann Iversen er postdoc
liversen@bio.ku.dk

Theis Kragh er lektor
tkragh@bio.ku.dk

Kenneth Martinsen er videnskabelig assistent

Alle er ved Ferskvandsbiologisk Sektion, Biologisk Institut, Københavns Universitet og har været tilknyttet projektet *Ekstreme kemiske gradienter i små søer* støttet af Carlsbergfondet.

Hundrede tusinde små søer på under en hektar ligger spredt ud over det danske land. De udviser ekstreme variationer i temperatur, opblanding og vandkemi, som udfordrer organismernes tolerance og kalder på særlige tilpasninger.

At temperatur og vandkemi kan variere meget i små søer over døgn, uger og måneder har spredte målinger afsløret for længe siden. Men at variationerne også kan være ekstreme fra minut til minut og fra overfladen til bunden på blot 50 cm vand, det overraskede os godt nok, da vi kunne åbne op for denne verden med nye automatisk registrerende målesensorer

Lagdeling og omrøring hver eneste døgn

Lysmålinger fortæller os om afsættelse af varmeenergi i vandet og planternes muligheder for at udføre fotosyntese, mens temperaturen afslører vandsøjlels fysik og desuden påvirker samtlige organismers

aktivitet. Allerede her begynder fortællingen om de små søers særlige træk.

Små lavvandede søer med vanddybder under 50 cm, som ligger eksponeret for vinden i det åbne landskab og er uden vegetation i vandet til at dæmpe omrøringen, opnår nogenlunde samme temperatur fra overfladen til bunden. Vinden driver omrøringen helt ned til bunden ved at skabe turbulente hvirvler i vandet.

Men er søen omgivet af træer, buske eller høje urter, skaber de læ og dæmper vindens påvirkning og nedsætter omrøringen i vandet. Er søvandet endvidere uklart af brunfarvede humusstoffer, som i

skovsøer, eller af mange mikroalger, som i næringsrige søer, afsættes solvarmen især i vandoverfladen, mens bundvandet forbliver koldere. Et såkaldt springlag kan opstå i søen med temperaturforskelle fra 1 til op mod 15 grader for overfladen til bunden, selvom søen er mindre end 50 cm dyb.

Har søen tæt undervandsvegetation dæmper den turbulensen i vandet, og ved overfladen kan vandet i dagtimerne om sommeren blive 20-30 grader, mens bundvandet måske blot er 15 grader, også selv om søen ligger frit eksponeret for vinden i åbent terræn.

Springlag i dagtimerne er almindeligt i små søer, især om

Kontinuerlig måling af centrale miljøparametre

I flere år har vi anvendt små (4 x 4 cm) vandtætte sensorer med indbyggede dataloggere til at måle temperatur og lys i vand. Tidsopløsningen kan indstilles fra sekunder til timer, og opløseligheden er 0,1 grad. Prisbillige er sensorerne også (400 kr. per styk). Fem sensorer på et skolebudget vil kunne afsløre dybdeprofilen i lys og temperatur i den nærliggende sø eller dam.

Ittsensorerne er dyrere (ca. 7.000 kr.), men prisen falder. De findes også med indbyggede datalogger og fungerer efter optode-princip

ved at udsende lys, der påvirkes af ilt i vandet, og returnerer til sensoren, som registrerer iltindholdet. Da de ikke kræver megen vedligeholdelse, kan de sidde ude i søerne og samle data i mange dage uden tilsyn.

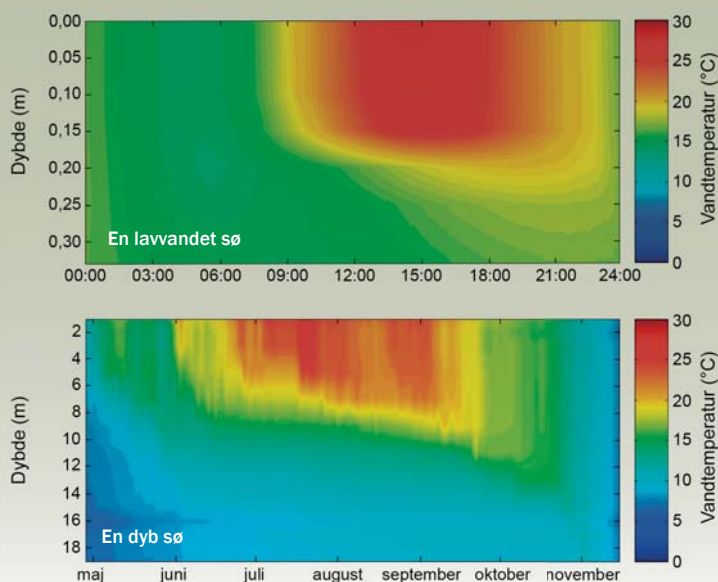
Også feltsensorer til løbende måling af vandstand, vandets pH og ledningsevne er nu til rådighed. Vandets ledningsevne har en tæt sammenhæng med indholdet af uorganisk kulstof. Når sammenhængen er fastlagt, er det muligt løbende at beregne indholdet af

CO₂, HCO₃⁻ (hydrogenkarbonat) og CO₃²⁻ (karbonat) ved måling af ledningsevne, pH og temperatur.

Hidtil har udstyr til at måle CO₂ i luft været meget dyrt, men det er nu også faldet voldsomt i pris, da det benyttes i stor stil i ventilationsanlæg. Et luftfyldt kammer med indbygget CO₂-sensor og dataopsamling, der flyder på vandoverfladen kan både måle CO₂-udvekslingen mellem vand og luft og CO₂'s partialtryk i vandet, når luftens CO₂-tryk i kammeret efter nogle minutter når ligevægt med vandets.

Små, lavvandede søer med tæt vegetation opvarmes ved overfladen om dagen (røde farver), men bundvandet er koldere (grønne farver). Temperaturforskellen mellem overfladen og bunden udlignes om natten, når vandet ved overfladen afkøles, bliver tungere og blander vandsøjlen op (øverste panel).

Temperaturforløbet på et enkelt døgn minder om forløbet i en dyb sø over mange måneder fra forår til efterår (nederste panel).



sommeren, og i søer med undervandsvegetation. I ni lavvandede småsøer (400-4000 m² og 68-169 cm dybe) i åbent terræn ved Næstved optrådte springlag således på 64 % af dagene fra marts til november. På solrige dage med svag vind udviklede næsten samtlige søer springlag. Om aftenen og natten blev vandsøjlen som regel omrørt til bunden på grund af afkøling af overfladevandet. Afkølingen gør overfladevandet tungere og udløser nedadrettede vandstrømme til bunden og tvunger bundvand retur mod overfladen. Denne konvektive strømning hæmmes i mindre grad af vandplanternes tilstedeværelse end de turbulente hvirvler, som vindens påvirkninger udløser.

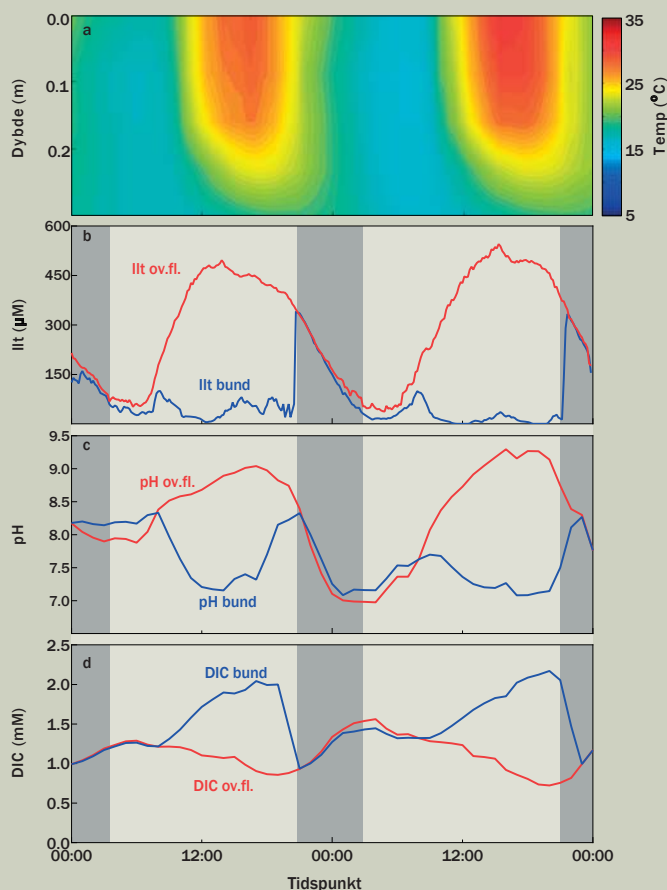
I løbet af et enkelt sommerdøgn gennemløber en lavvandet, vegetationsrig sø således en temperaturcyklus, som ligner den, der foregår over mange måneder i større søer med dybder over 4-5 meter. I de større søer er der fuld omrøring af vandsøjlen om foråret ved vindens påvirkning. Om sommeren, når solindstrålingen er høj, lagdeles vandsøjlen over flere måneder med varmt vand ved overfladen og koldere, tungere vand ved bunden. I efteråret, når indstrålingen falder, skaber vinden igen omrøring af vandsøjlen helt til bunden.

Vandkemisk dramatik

Den gentagne dannelse af springlag om dagen og konvektive opblanding om natten skaber stor kemisk

dramatik i småsøer – især hvis vegetationen er tæt og absorberer alt lys ved overfladen og dermed udelukker fotosyntese ved bunden. Der opstår en situation med produktion af organisk stof ved overfladen om dagen og udelukkende nedbrydning ved bunden hele døgnet. Herved skabes ekstreme kemiske forskelle, hvis vandmasserne ikke blandes.

Fotosyntesen i det velbelyste overfladelag skaber overmætning af ilt og stigning i pH, mens koncentrationen af CO₂ og den samlede pulje af uorganisk kulstof falder. Uorganisk kulstof omfatter CO₂ og de to ioner hydrogenkarbonat (HCO₃⁻) og karbonat (CO₃²⁻). Forhøjet pH øger koncentrationen af karbonationer, og der kan

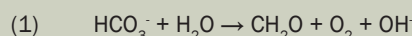


Temperatur og vandkemi ved overfladen (røde linjer) og bunden (blå linjer) i en lille vegetationsrig sø i løbet af et par sommerdøgn. Øverst: temperaturen. I midten: iltindholdet og pH. Nederst: den samlede uorganiske kulstofpulje (DIC: $\text{CO}_2 + \text{HCO}_3^-$ og CO_3^{2-}).

Organisk stof og vandkemi

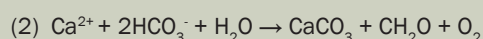
Produktion og nedbrydning af organisk stof påvirker vandkemi. Det foregår på følgende måde:

Produktion af organisk stof ved fotosyntesen i lys følger processen mod højre i ligningen herunder, mens nedbrydningen af organisk stof går den modsatte vej mod venstre (1). Sædvanligvis dominerer hydrogenkarbonat (HCO_3^-) som kulstofkilde i vand ved produktion af organisk stof (forkortet CH_2O):

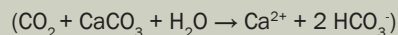


Fotosyntesen frigør ilt (O_2) og hydroxylioner (OH^-); sidstnævnte får pH til at stige.

Hos mange vandplanter foregår kalkdannelse sideløbende med produktion af organisk stof (2). Halvdelen af den uorganiske kulstof indbygges i organisk stof, mens den anden halvdel udfældes som kalk (kalciumkarbonat, CaCO_3). Kalkdannelse danner brintioner, så pH stigning undgås. Kalken kan eventuelt indgå i et skelet (koraller og visse rødalger), eller udfælde på organismernes overflade og her beskytte mod dyrenes gnaw.



Genopløsning af kalk og gendannelse af hydrogenkarbonat sker ved et højt CO_2 -indhold i søers bundvand og bund



udfældes krystaller af kalciumkarbonat (kalk), som synker til bunds. Hos mange af vandplanterne er opbygning af organisk stof ved fotosyntesen endvidere direkte koblet sammen med kalkudfældning på planternes overflader. På den måde kan op mod halvdelen af den samlede uorganiske kulstofmængde forsvinde fra overfladevandet i løbet af blot 12 dagtimer i småsøer med tæt vegetation. I det mørke afsondrede bundvand sker der så den stik modsatte udvikling ved nedbrydning af organisk stof. Iltindholdet og pH falder, CO_2 stiger, mens kalk genopløses. Den samlede pulje af uorganisk kulstof i bundvandet stiger i mængde nogenlunde svarende til tabet fra overfladevandet.

Iltforbruget i mørke ved bunden kan være så intenst, at iltten bruges helt

op. Det er en alvorlig udfordring for dyrs og planters overlevelse. Men uden ilt til stede kan de slå over på forgæring, men processen producerer meget mindre energi end respiration med ilt. Ved vedvarende iltsvind løber de derfor tør for energi. Bakteriesamfundet kan skifte fra at bruge ilt til respiration til at forbruge sulfat og iltet jern, som omdannes til henholdsvis sulfid og reduceret jern i bundvandet. Det skaber en særlig farlig cocktail af iltfrit bundvand med sulfid og reduceret jern, som organismene må kunne tåle for at overleve.

Ved nattens omrøring af vandsøjlen tilføres ilt atter til bundvandet og sulfid og reduceret jern omdannes tilbage til sulfat og iltet jern. Når iltten kommer tilbage om natten kan dyr, planter og bakterier ved bunden atter genoptage respiration

med ilt, efter at de har klaret sig uden ilt om dagen.

Situationen er bemærkelsesværdig. De fleste tænker nok, at iltsvindet skal optræde om natten, når fotosyntesen stopper, og der ikke produceres ilt. Men her er det altså vandsøjlen lagdeling om dagen og opblanding om natten, der styrer forholdene. Iltsvindet optræder ved bunden om dagen, fordi vandsøjlen er lagdelt, mens iltten tilføres bundlaget om natten ved opblanding med det ilttrige overfladelag.

Nattens opblanding stimulerer omsætningen

Den tilbagevendende natlige omrøring i de lavvandede søer er vigtig ikke bare for organismernes overlevelse og bakteriernes aktivitet ved søbunden, men også for den fortsatte fotosyntese og planteproduktion.



↑ Adskillige vandplanter udfælder kalk på overfladen ved fotosyntesen. Kransnålalgen *Nitella capillaris* har vekslende bånd med pH 10 og pH 6 på langs af cellen. Kalken fælder ud og skalber kalkbånd ved pH 10.

→ Heftigt kalkinkrusterede kransnålalger ligger tilbage på jordoverfladen efter markvanding har udtørret denne sø på Øland. Fotos Rune Stefan Jensen.



tion ved overfladen om dagen. Da uorganisk kulstof og næringsstoffer forbruges i overfladevandet, ville planteproduktionen hurtigt falde og eventuelt helt gå i stå, hvis der ikke blev tilført nye ressourcer fra bunden til overfladen. Omrøringen om natten skaber en effektiv cirkulation af livsnødvendigt uorganisk kulstof og næringsstoffer til fornyet planteproduktion næste dag.

Selv om vandets næringsindhold er beskedent, kan lavvandede søer derfor godt opbygge en høj planteproduktion ved effektiv cirkulation af næringsstoffer fra bunden til overfladen. Omvendt vil dybe søer i samme situation have en meget mindre produktion, da mange af næringsstofferne hele sommeren forsvinder ud af cirkulation. De ophobes i bundvandet og søbunden under det permante springlag.

Hvordan klarer planterne mosten?

Rodfæstede planter i lavvandede småsøer med tæt vegetation oplever ekstreme kemiske forskelle fra overfladen til søbunden og fra dag til nat. Plantevævet ved overfladen oplever typisk pH 9,5 og 200 % iltmætning om dagen og pH 7,5 og 30 % iltmætning om natten, mens døgnforløbet er det modsatte i bundvandet og med risiko for iltsvind om dagen.

Tolerancen for iltsvind har vi undersøgt hos de makroskopiske kransnålalger, fordi de udvikler særligt tætte bestande og er med til at skabe de ekstreme kemiske forhold i lavvandede søer. Det viser sig, at kransnålalgerne har en intensiv forgæring i iltfrit vand for at skaffe sig energi. De overlever endvidere i iltfrit bundvand med sulfid og redu-

ceret jern i 70 timer, selvom deres evne til efterfølgende at udføre fotosyntese gradvist falder til 30 % af den oprindelige i løbet af de mange timer. Gentagne iltsvind over 12 timer hver dag i bundvandet er de altså meget tolerante over for.

Hvordan egentlige blomsterplanter klarer mosten, har man ikke undersøgt. De har mulighed for at transportere ilt fra skudspidsen til rødderne i de indre luftkanaler, som løber gennem planterne, mens kransnålalgerne mangler luftvæv til ilttransport fra skudspidsen til de rodformede rhizoider i søbunden.

Et udfordrende miljø for dyrelivet

Mange af smådyrene i damme ånder med atmosfærisk luft, som de henter over overfladen og omgår herved problemerne med lavt iltind-

Stor kejserguldsmed indvandrede fra syd til danske småsøer i 1994 og har siden spredt sig til vandløb og større søer. Småsøerne har været trædesten i artens spredning. Foto: Erland Refling Nielsen.



Videre læsning:

Andersen, M. R., Sand-Jensen, K., Woolway, R. I., & Jones, I. D. (2016). *Profound daily vertical stratification and mixing in a small, shallow, wind-exposed lake with submerged macrophytes*. *Aquatic Sciences*, 2: 395-406.

Andersen, M. R., Kragh, T. & Sand-Jensen, K. (2017). *Extreme diel oxygen and carbon cycles in shallow vegetated lakes*. *Proceeding of the Royal Society B*, in press.

Kragh, T., Andersen, M. R. & Sand-Jensen, K. (2017). *Profound afternoon depression of ecosystem production and nighttime decline of respiration in a macrophyte-rich shallow lake*. *Oecologia*, in press.

Martinsen, K. T., Andersen, M. R., Kragh, T. & Sand-Jensen, K. (2017). *High rates and close diel coupling of primary production and ecosystem respiration in small, oligotrophic lakes*. *Aquatic Sciences*, DOI 10.1007/s00027-017-0550-3.

hold i vandet. De voksne vandkalve dykker fra overfladen og bringer en luftboble med sig, hvis iltindhold de gradvis bruger op under dykningen. Er der ilt i vandet, får luftboblen noget ilt herfra i takt med, at dyrene bruger ilten. Men i iltfattigt vand må de hurtigere tilbage til overfladen efter en ny luftboble end i iltigt vand, og det koster energi og øger risikoen for at blive ædt af fjender.

Bevægelige smådyr, der ikke kan optage ilt over vandet, kan i stedet flytte sig rundt i søen for at opsøge mikromiljøer med lempeligere temperatur og iltforhold – ikke for høj temperatur og ikke for lavt iltindhold. I lavvandede søer skal de måske blot flytte sig 10-20 cm op eller ned i vandsøjlen for at finde det bedste kompromis mellem temperaturen og iltindholdet. Men alligevel kan de komme i krise.

Selv om de store mosesnegle er yderst robuste over for iltsvind, har vi oplevet, at de i massevis søgte til overfladen om formiddagen i små vegetationsrige søer for hurtigt at få dækket en livstruende iltgæld. De lå fuldt eksponerede for rovfisk og fugle i vandoverfladen og ventilerede lungehulen i nogle timer, inden de var restituerede og igen

kravlede ned på dybere vand i søen.

Sagen er mere alvorlig for fastsiddende dyr. De kan ikke undslippe iltsvind og sulfid, hvis de lever på eller nær bunden i vegetationsrige søer. Her forventer vi derfor at møde dyr, der er særligt tolerante over for lave iltkoncentrationer. Det undersøger vi i øjeblikket i en stribe små nabosøer, der ligner hinanden i størrelse og dybde, men adskiller sig fra hinanden i lysindfald og iltindhold. Resultaterne vil vise, om de ekstreme forhold tilgodeser særligt tolerante arter, og om bestemte arter kan tilpasse sig dårlige iltforhold.

Det er kendt, at dafnier vandrer op og ned i vandsøjlen i løbet af døgnet, og at visse dafniearter tillige kan tilpasse sig et lavt iltindhold ved at producere iltbindende rødt hæmoglobin. Vi undersøger, om døgnfluencykler kan øge deres gælleareal eller tætheden af luftfyldte trachéer i gællerne, hvis iltforholdene er særligt dårlige på levestedet.

Småsøernes rolle i evolutionen og arternes spredning

Vi forestiller os, at småsøer kan have en særlig rolle i vandlevende arters evolution og spredning af

flere grunde. Småsøerne er særligt talrige – herhjemme er de omkring 50 gange hyppigere end store søer. De talrige småsøer varierer endvidere meget mere indbyrdes med hensyn til fysiske, kemiske og biologiske forhold end de store søer. Variation skaber muligheder og kræver forskellige tilpasninger. Ekstremerne skaber øget selektionstryk og skubber derfor på arterne for at udvikle bedre miljøtilpasninger. Talrigheden af småsøer øger mulighederne yderligere. Og de små dyrebestande i små søer øger sandsynligheden for tilfældigheder og udvikling i forskellige retninger.

Så når temperaturerne stiger i disse år og kræver øget tolerance hos hjemmehørende vandlevende arter og får sydlige arter til at sprede sig mod nord, kan denne udvikling og spredning især ske i små søer.

Småsøernes ekstreme miljøforhold og deres mulige betydning for arters tilpasning, evolution og geografiske spredning gør det attraktivt at undersøge dem. De er nemme at gå til, så skoleelever og interesserede borgere kan selv gå i gang. ■

HJÆLP TIL DIT STUDIERETNINGS- PROJEKT?

DU KAN FÅ HJÆLP TIL EMNER SOM:

- SUPERLEDNING
- KVANTEMEKANISKE TUNNELEFFEKTER
- UV-LITOGRAFI
- BESTEMMELSE AF PLANCKS KONSTANT

Få sparring af dygtige
forskere og lav forsøg til dit
studieretningsprojekt i de
veludstyrede laboratorier på
Aalborg Universitet.

nano.aau.dk/srp



AALBORG UNIVERSITET
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN



DE DANSKE

Mens dinosaurerne herskede på landjorden, tilhørte havets toprovdyr i Kridttiden en helt anden gruppe krybdyr kaldet mosasaurer. Et nyt fund fra Stevns Klint viser, at der i Kridttidens slutning har levet hele tre forskellige slags af disse havuhyrer i Danmark.



Forfatteren Jesper Milàn er palæontolog og Museumsinspektør på Geomuseum Faxe, som er en del af Østsjællands Museum. Han er formand for Danekræudvalget og forsker især i dyrelivets udvikling omkring Kridt/Paleogen-grænsen i Danmark.
jesperm@oesm.dk

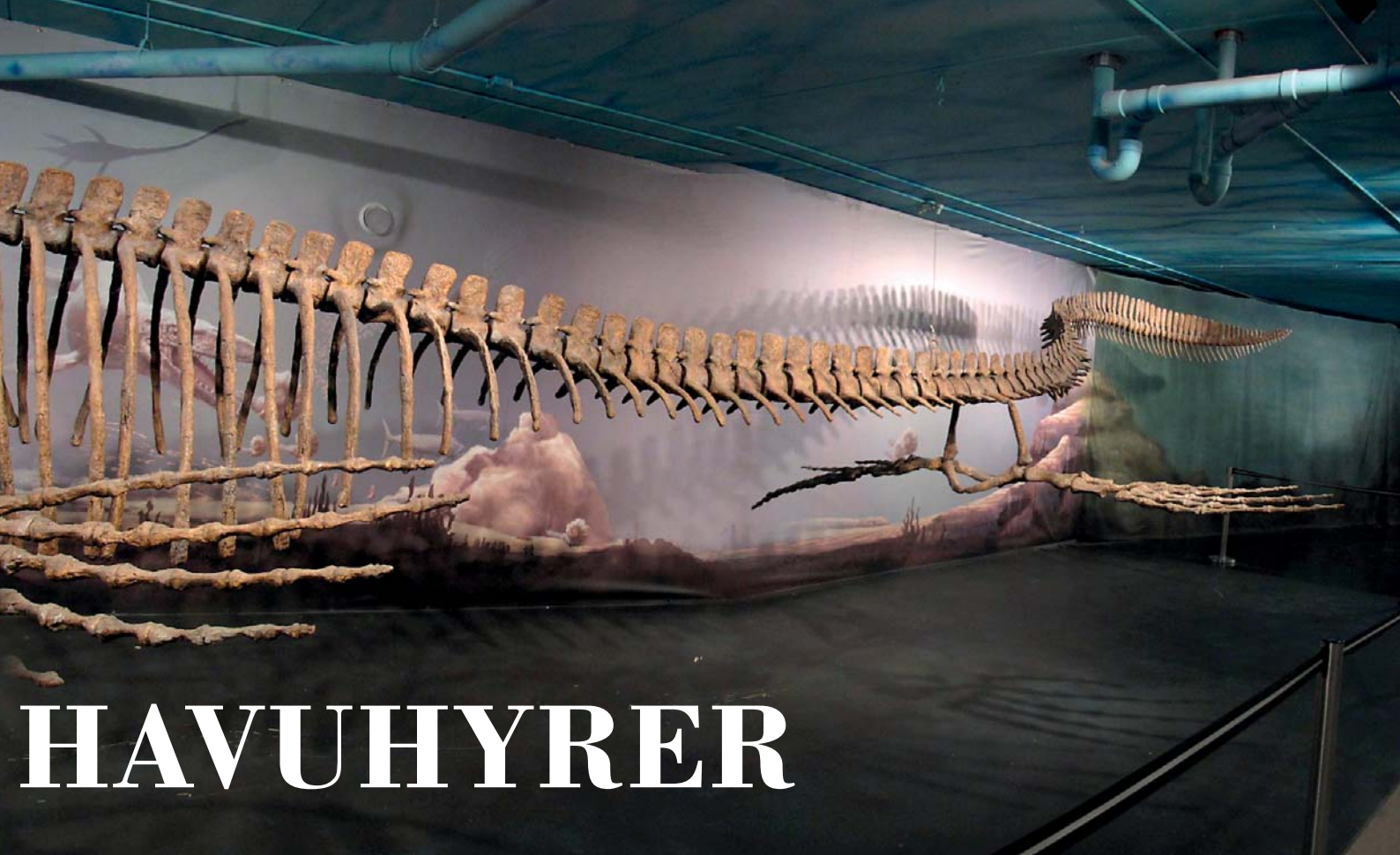
Kridttiden er den geologiske tidsperiode, der strækker sig fra 144 – 66 millioner år siden, og den er mest kendt for at være en del af dinosaurernes storhedstid, hvor landjorden blev behersket af forskellige store dinosaurer. I gennem den sidste halvdel af Kridttiden var hele Danmark og store dele af Nordeuropa dækket af hav. Det var et meget frodigt hav, der myldrede med liv i alle afskygninger. I dag finder vi derfor utallige fossiler af alle de fantastiske dyr, der levede i havet og på havbunden dengang. Dem finder vi i aflejringer af skrivekridt, som har givet navn til Kridttiden. Det rige liv i havet gav selvfølgelig også næringsgrund til en mængde rovdyr i form af hajer og havkrokodiller. Men toprovdyret i Kridthavet var et reptil, mosasauren.

Et formidabelt rovdyr

Mosasaurerne opstod ret sent i historien i sidste halvdel af Kridttiden, der strakte sig fra ca. 99,6 – 66 millioner år siden. De tilhører tydeligvis gruppen af skæløgler, som i dag omfatter blandt andet firben, varaner og slanger. Mosasaurerne tilpassede sig perfekt til et liv i havet og udviklede en lang strømlinjet krop med en lang stærk hale, der ender i en lodret finne. Deres lemmer blev omdannet til stærke luffer, der ikke længere kunne benyttes til at bære dyrets vægt på land. Endelig udviklede mange af dem gigantiske størrelse, hvor en af de størst kendte *Mosasaurus hoffmannii* kunne blive op til 15 meter lang. Den var dermed et formidabelt rovdyr i havet, der har udfyldt en niche, der kan sammenlignes med den, som moderne tandhvaler som spækhuggeren udfylder i dag

Mosasaurerne var kendt som fossiler længe før, man kendte til landjordens dinosaurer. Det første beskrevne fossil blev fundet i Holland helt tilbage i 1764, og en videnskabelig beskrivelse blev publiceret i 1790, hvor det blev beskrevet som en hvalfisk. Få år senere blev det fastslået, at der ikke var tale om en hval, men derimod om et stort varanlignende dyr. I 1822 fik fossilet det videnskabelige navn *Mosasaurus* efter Meuse-floden i nærheden af, hvor det blev fundet. Navnet betyder altså "øglen fra Meuse-floden". *Mosasaurus* kom til at give navn til hele familien Mosasauridae, der i dag omfatter over 40 anerkendte slægter af mosasaurer og omkring 100 kendte arter.

Mosasaurerne havde kæber med dobbelt led, og deres kranier var fleksible ligesom hos slangers, så



Monteret skelet af mosasaur (*tylosaurus*).
Foto: User: Loozrboy/ CC-BY-SA-2.0

de kunne åbne deres kæber vidt op og sluge selv meget store byttedyr. Et meget velbevaret eksemplar, der blev fundet i South Dakota i USA, har rester af havfugle, store fisk, en haj og en mindre mosasaur bevaret i maveregionen. Man har også fundet fossiler af ammonitter (en gruppe af nu uddøde skalbærende blæksprutter), hvor man kan se tydelige rækker af bidmærker i deres skaller, som passer med formen på mosasaur-tænder. Så mosasaurene var altså aktive rovdyr, der spiste lidt af hvert inklusiv deres mindre artsfæller.

Skæl og kløftet tunge

Indtil for relativt nylig var der stor tvivl om, hvordan skindet på mosasaurene egentligt har set ud. Næsten alle rekonstruktioner af dem viste dem med helt glat skind, som man kunne forvente på et

Havets herskere på dinosaurernes tid

I kridttiden var toprovdyrene på landjorden alle sammen forskellige arter af rovdinosaurer for eksempel den kendte *Tyrannosaurus rex*, som herskede på landjorden hen i mod slutningen af Kridttiden, hvor Kridthavet eksisterede. Selvom dinosaurerne suverænt beherskede landjorden og til dels også luft- rummet i form af fuglene, så var der aldrig nogen dinosaurgruppe, der tilpassede sig et liv i havet. Derimod var rollen som store rovdyr i havet besat af forskellige andre grupper af reptiler, der uafhængigt af hinanden tilpassede sig et liv i havet. Helt tilbage i midten af Triastiden for 240 millioner år siden opstod en gruppe kaldet fiskeøgler eller ichtyosaurer. På trods af, at de er reptiler, blev deres krop perfekt tilpasset et liv i havet, og deres krop udviklede en perfekt strømlinet form, der meget minder om formen hos hajer eller delfiner. Benene var omdannet til finner, og de var ude af stand til at bevæge sig op på land.

I sidste halvdel af Triastiden for omkring 220 millioner år siden, fik fiskeøglerne selskab af en anden meget succesfuld gruppe af

marine krybdyr, svaneøglerne eller plesiosaurene. De havde tilpasset sig livet i havet på en anden måde end fiskeøglerne. De havde en kort afrundet krop, og deres lemmer var omdannet til fire stærke luffer. Svaneøglerne fandtes i to hovedtyper, en type med lang hals og lille hoved og en type med kort hals og stort hoved. Fiskeøglerne og Svaneøglerne beherskede havet gennem de næste 110 millioner år og udviklede en masse former og størrelser gennem tiden. I midten af Kridttiden for ca. 100 millioner år siden begyndte fiskeøglerne at forsvinde, og en ny gruppe krybdyr gjorde deres indtog i havet, nemlig mosasaurene.



Skelet af plesiosaur.
Foto: Shutterstock



Monteret skelet af den store mosasaur *Mosasaurus hoffmannii*, fra Naturhistorisk museum i Maastricht.
Foto John Jagt.



↑ Tænder fra de tre typer mosasaurer, der kendes fra Kridthavet i Danmark. Til venstre en kraftig kegleformet tand fra *Mosasaurus hoffmannii*. I midten den slanke krumme tand fra *Plioplatecarpus* og til højre den brede afrundede knusetand fra *Carinodens*. Foto: Sten Lennart Jakobsen.

→ Ryghvirvel fra en mosasaur fundet ved Stevns Klint, og som nu er udstillet på Geocenter Møns Klint. Foto: Jesper Milàn

havlevende dyr, der jo skal være så strømlinet som muligt. Men i 2010 blev der beskrevet et fund af et mosasaur-fossil fra Kansas i Nordamerika, der er så velbevaret, at der er aftryk af skindet på hovedet og flere steder på kroppen. Dette fossil viser, at mosasaurenes skind var skællet præcis som hos deres nulevende slægtninge firben, varaner og slanger. Det har også været muligt at udtrække farvepigment fra rester af skind, der har været bevaret under ekstremt heldige omstændigheder. Det har vist, at mosasaurerne sandsynligvis var lyse på undersiden og mørkere på oversiden, så de var sværere at få øje på, når de svømmede i vandet.

En langvarig debat omkring mosasaurerne har stået om, hvorvidt de havde kløftet tunge ligesom

varaner, firben og slanger. Det viser sig faktisk, at ved at se på ganeknoglerne i velbevarede mosasaurkranier, finder man hos mosasaurerne de samme to åbninger i ganetaget, som andre skælgler med kløftet tunge har. Så det er meget sandsynligt, at mosasaurerne også har haft kløftet tunge.

Mosasaurene uddøde alle ved slutningen af Kridttiden for 66 millioner år siden i den store masseuddøen, hvor over halvdelen af alle dyregrupper på Jorden uddøde inklusiv alle de store landlevende dinosaurer. Med mosasaurernes forsvinden fra havets økosystem sammen med gruppen af svaneøgler, der ligeledes befandt sig i toppen af fødekæden, åbnedes muligheden for, at en ny gruppe dyr kunne indtage rollen som toprovdyr

i havet, nemlig pattedyrene i form af hvalerne.

Danske mosasaurer

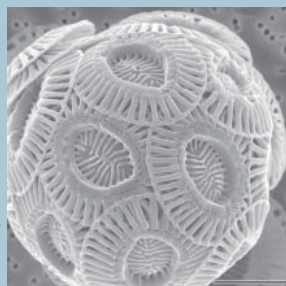
Det er meget sjældent, der findes rester af mosasaurer i det danske skrivekridt. Kun cirka en gang om året bliver der fundet enkelte løse tænder, og endnu sjældnere bliver der fundet knoglerester. Tænderne er kendt fra skrivekridtet ved Stevns Klint, Møns Klint og et enkelt fund fra et nu nedlagt kridtbrud omkring Mariager fjord i Nordjylland. Hidtil er det eneste kendte fund af knoglerester blevet gjort ved Mandehoved på Stevns Klint i en stor blok af nedfaldent materiale på stranden nord for Stevns Kridtbrud. Knoglerne er desværre meget skrøbelige og dårligt bevaret, men iblandt dem er der en enkelt rimelig velbevaret ryghvirvel. Det er dog ikke muligt at

Skrivekridtet

I kridthavet levede milliarder af mikroskopiske alger kaldet kokkolithoforider. De dannede små runde kalkplader, som de pakkede sig ind i, lidt som at forestille sig en fodbold, man pakker ind i tallerkner, bare i mikroskopisk størrelse. De enkelte kalkplader kaldes kokkolitter, og når algerne døde, sank kalkpladerne langsomt ned til havbunden. Gennem de millioner af år, kridthavet eksisterede, blev der langsomt opbygget flere hundrede meter tykke lag af kridtslam på havbunden. Med tiden hærtnede dette til den bjergart, vi i dag kalder skrivekridt, og som har givet navn

til hele den geologiske tidsperiode Kridttiden.

Skrivekridtet kan vi i dag se flere steder i Nordeuropa, blandt andet ved de enorme hvide klipper i Dover i det sydlige England, ved de spektakulære kystklinter på den nordtyske ø Rügen, og i flere kridtbrud i det sydlige Sverige, Holland og Belgien. I Danmark kan skrivekridtet bedst ses ved de flotte kystklinter på Stevns og Møn i det østlige Danmark, men det kan også opleves ved flere mindre lokaliteter i det nordlige Nordjylland, dog mest i kridtbrud.



Alison R. Taylor/
CC-BY-SA-2.5



Fotoet til venstre viser et scanning elektromikroskopi-billede af en komplet kokkolithoforid af arten *Emiliana huxleyi*, som findes i nutiden. Man ser tydeligt, hvordan dens skal er opbygget af enkelte runde kalkplader (kokkolither). Til højre ses et tilsvarende mikroskopibillede af skrivekridt, hvor man kan se masser af kokkolither.



Det smukke klinter af skrivekridt og kalksten ved Stevns Klint er et perfekt sted at gå på jagt efter fossiler fra alle kridthavets fascinerede dyr, lige fra søpindsvin til drabelige mosasaurer. Foto: Jesper Milån.

sige, fra hvilken art af mosasaur, knoglerne stammer. Problemet er, at selve overfladen af knoglerne stort set ikke er bevaret, og det virker nærmest som om det drejer sig om knogler fra et dyr, der i sin tid er blevet spist, og hvor knoglerne har ligget et stykke tid i maven og er blevet angrebet af mavesyren, før de er blevet brækket op igen og endt på bunden af havet. Det kan ikke ses, hvilket dyr der i givet fald har spist knoglernes ejermand, men det har sandsynligvis været en haj eller en anden mosasaur.

Der kendes nu tre forskellige typer af mosasaurer i det danske skrivekridt. Da alle mosasaurerne var meget ens af kropsbygning, er det svært at sige noget om deres individuelle levevis ud fra deres skelet. Men tænderne på de forskellige

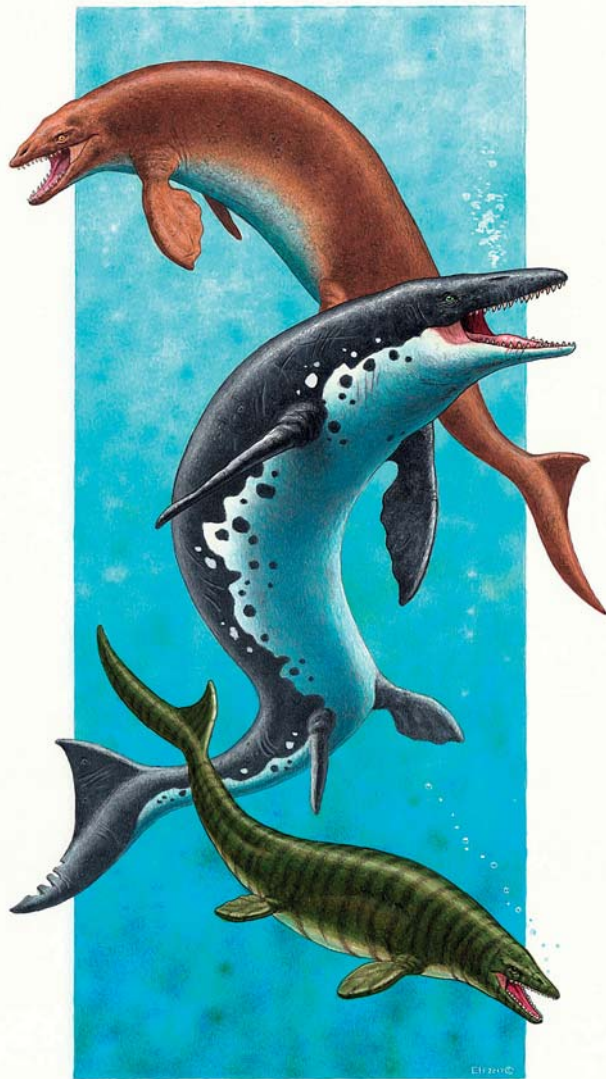
typer har meget forskellig form, afhængig af hvilken type føde de levede af. Og det er netop tænderne, der afslører, hvordan de tre forskellige typer mosasaurer har kunnet levet sammen i det danske kridthav uden at konkurrere med hinanden.

Den største af de danske mosasaurer var netop den førnævnte kæmpe *Mosasaurus hoffmannii*, som er fundet flere steder i verden og som kunne blive op til 15 meter lang. Det var en stor robust mosasaur med et meget kraftigt bid. Dens tænder var tykke og kegleformede og velegnede til at knuse gennem ethvert byttedyr. Den anden type mosasaur fundet i Danmark var den mindre og slankere *Plioplatecarpus*. Dens tænder var også kegleformede, men betydeligt slankere end tænderne hos *Mosasau-*

rus hoffmannii, og så krummede de bagud i munden for at kunne holde bedre fast på deres bytte – meget lig tænderne hos krokodiller, der lever af at spise fisk. Det tyder på, at den store *Mosasaurus hoffmannii* var en generalist, der kunne spise stort set alt, den kunne få fat i og knuse med sine kraftige pløkformede tænder, hvorimod den slankere *Plioplatecarpus* var specialiseret til at fange fisk.

Den nye danske mosasaur

Disse to nævnte typer var de eneste, man kendte fra det danske skrivekridt indtil efteråret 2016. Her fandt en tysk amatørgeolog en tand fra en type mosasaur, der aldrig tidligere var fundet i Danmark, nemlig *Carinodens minalmamar*. I modsætning til andre typer mosasaurer var *Carinodens* ikke en aktiv jæger,



Takket være det nye spændende fund fra Stevns Klint ved vi nu, at der har eksisteret hele tre forskellige typer af mosasaurer i den danske del af Kridthavet. Øverst *Plioplatecarpus*, i midten *Mosasaurus hoffmannii* og nederst *Carinodens minalmamar*. Illustration af Esther van Hulsen.

men havde derimod tilpasset sig til at spise krebsdyr og muslinger med hårde skaller. Derfor var dens tænder blevet brede og afrundede i formen, så de kunne knuse de tykke, hårde skaller fra især kridthavets store muslinger uden at risikere at knække tænderne. *Carinodens* var ikke særlig almindelig i Kridthavet, og den er kun kendt fra ganske få rester rundt omkring i verden. Det nye fund er det hidtil eneste kendte fund af den i Skandinavien. I Europa er den kendt fra et par enkelte fund i Holland og Belgien, men er også her meget sjælden.

Fundet fra Stevns blev gjort i den øverste meter af skrivekridtet ved Stevns Klint, og det betyder at den har levet indenfor de sidste 50.000 år af Kridttiden. Det gør den også til det hidtil yngste fund af en mosasaur i Danmark.

Takket være det nye fund ved vi altså nu, at der har levet mindst tre forskellige typer mosasaurer i det kridthav, der dækkede Danmark for 66 millioner år siden, den store *Mosasaurus hoffmannii* med robuste kegleformede tænder, den mindre og slankere *Plioplatecarpus* med krumme spidse tænder og så *Carinodens*, der levede af at spise krebsdyr og muslinger, den kunne knuse med sine runde tænder. ■

Bliv Studerende for en dag

på de naturvidenskabelige uddannelser på SDU

Anvendt matematik ·
Biokemi og molekylær biologi · Biologi
Biomedicin · Dataologi · Farmaci ·
Fysik · Kemi · Matematik ·

Læs mere på:

sdu.dk/nat/studerendeforendag

SDU

DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



JAGTEN PÅ DEN GODE ALDERDOM

Megen forskning og teknisk udvikling er i dag rettet mod at forebygge og behandle aldersrelaterede sygdomme og hjælpe den aldrende befolkning med at opnå en sund alderdom og et værdigt liv. Interessen for den type forskning og innovation vil kun øges i fremtiden.

En stigende ældrepopulation, mindre charmerende ofte kaldet en stigende ældrebyrde, er en garant for, at der vil blive endnu mere fokus på naturvidenskabelig forskning og teknisk innovation indenfor sund aldring. Vi vil se mange sunde ældre, der vil efterspørge fremskridt til fortsat at have en sund alderdom. Og vi vil desværre også se et stigende antal ældre med aldersrelaterede sygdomme som demens, der vil kræve

flere samfundsmæssige ressourcer i fremtiden og derfor øge behovet for mere innovation og for mere succesfuld lægemiddeludvikling.

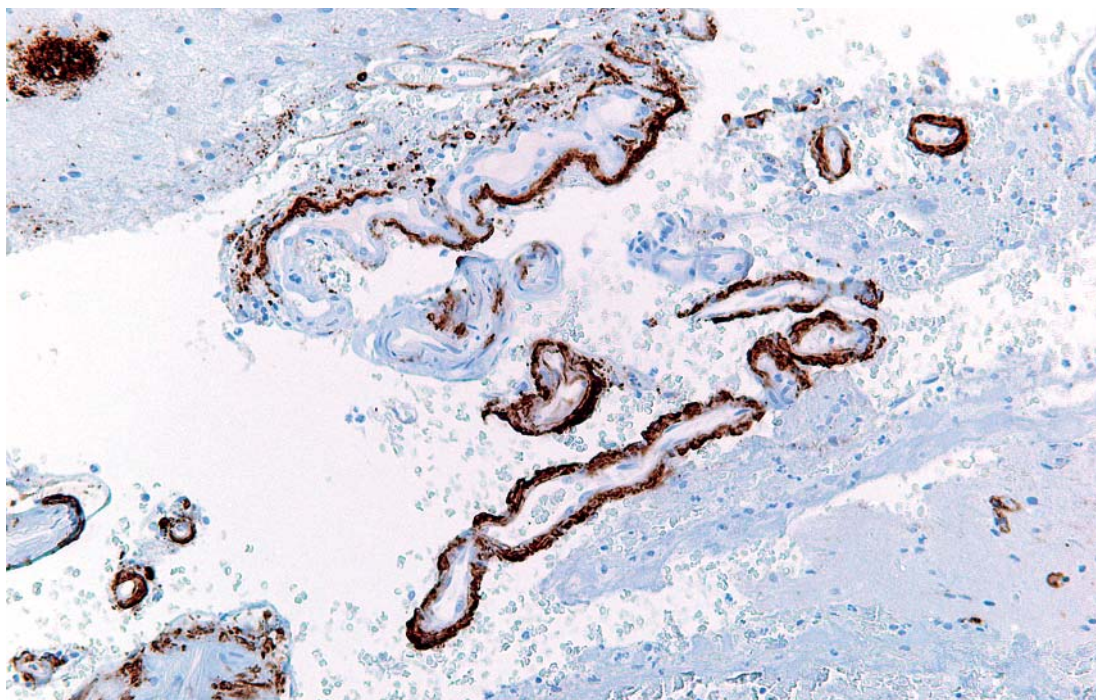
Megen forskning og innovation foregår i relation til aldring og i relation til aldersrelaterede sygdomme. Det kan være svært at skelne mellem aldring og aldersrelaterede sygdomme. De fleste ældre, der er mere end 80 år, har to eller flere kroniske sygdomme.

Forskningen øger vores forståelse for aldersmekanismerne og sygdomsprocesserne, men leder ikke nødvendigvis til nye behandlinger af de sygdomme, man undersøger. Ved innovation forstår vi ideen til ny teknologi, lægemidler, processer med videre samt videre udvikling og implementering af ideen. I denne artikel gennemgår jeg status på Alzheimer demenssygdom som et eksempel på en aldersrelateret sygdom og ser på lægemiddeludvikling og anden ny teknologi.

Forfatteren



Palle Høj Jakobsen har en ph.d.-grad i naturvidenskab og en doktorgrad i medicin. Han har tidligere forsket i immunologi og infektionssygdomme samt arbejdet med kommercialisering af forskning hos blandt andet Novo Nordisk. I dag er han direktør for den skandinaviske enhed af netværket EIT-Health, der har fokus på innovation og sund aldring. Han er desuden ekstern lektor på Københavns Universitet og Copenhagen Business School. pallehoj.jakobsen@eithealth.eu



Mikroskopibillede af et udsnit af hjernen hos en ældre person, hvor de brunt farvede områder viser ophobninger af aggregater af proteinet beta amyloid. Sådanne ophobninger ses karakteristisk ved demenssygdomme som Alzheimers, og man forsøger at udvikle lægemidler, der angriber disse.

Foto: User Nephron/ Wikimedia Commons/CC-BY-SA-3.0

Tidlig diagnostik af demens

I relation til de aldersrelaterede sygdomme sker der fremskridt indenfor udvikling af biomarkører, der vil gøre det muligt at identificere sygdomme som demens tidligere. Det er vigtigt, da mange forskere regner med, at lægemidler kan være mere effektive til at bremse sygdomsudvikling, hvis de kan anvendes tidligere i sygdomsforløbet, allerede inden de kliniske symptomer melder sig. Demens er en fællesbetegnelse for en række sygdomstilstande, der er karakteriseret ved en vedvarende svækkelse af mentale funktioner. Der findes flere former for demens, hvor den mest almindelige er Alzheimers sygdom.

Et Amerikansk firma fik i 2015 godkendt et nyt hjernefunktions-testsystem i USA, der skulle kunne detektere tidlige tegn på demens. Der er tale om en 30-minutters test, der måler på opmærksomhed, hukommelse, reaktionstid med videre som udtryk for kognitiv funktion. Testen er således ikke en klinisk diagnose, men alene en kognitiv funktionstest.

Firmaet håber på, at programmet kan få samme betydning som blodtryksmåling har fået for forebyggelse af hjertekarsygdomme. Prisen er omkring 48 dollars for en test.

En række andre firmaer udvikler lignende kognitive funktionstest-systemer, der skal kunne påvise tidlige tegn på demens. Et svensk projekt udvikler for eksempel "risiko-scoring" for demens og vil give gode råd over internettet til at prøve at forebygge sygdommens udvikling.

Andre firmaer anvender hjerneskaningsmetoder til at monitorere udvikling og forløb af demens- sygdomme.

Ingen effektive lægemidler mod Alzheimers sygdom

Der er således store tekniske landvindinger indenfor tidlig diagnostik. Det væsentlige spørgsmål er, om vi har lyst til at lade os teste for eksempelvis demens, hvis vi ikke kan tilbydes en effektiv behandling. Behandling af kroniske sygdomme hos ældre byder ofte på store problemer, blandt andet fordi ældre ofte har flere kroniske sygdomme, som overlapper og influerer på

de enkelte sygdommes forløb. En aldersrelateret sygdom som Alzheimer-demens findes der således den dag i dag ikke effektive lægemidler imod.

Mere end 100 lægemiddelkandidater er under udvikling til behandling af Alzheimers. Mange af disse lægemiddelkandidater er rettet mod den skadelige ophobning af aggregater af proteinet beta-amyloid i hjernen. Der er et stærkt rationale for at angribe akkumuleringen af beta-amyloid fra blandt andet genetiske studier af mutationers betydning og fra dyremodeller. Lægemiddelkandidaterne omfatter små molekyler, der hindrer dannelsen af beta-amyloid, samt antistoffer og vacciner, der hæmmer aggregeringen af beta-amyloid eller fremmer udskillelsen af aggregaterne. Ingen af disse studier har indtil nu haft succes med at vise effekt overfor sygdommen.

For antistoffernes vedkommende er det en udfordring, at kun cirka 0,1% af antistofferne kan passere blod-hjerne-barrieren til hjernen. Hvis store mængder antistoffer



Middelhavsdiet kendetegnes af fisk, skaldyr, nødder, sunde olier samt frisk frugt og grøntsager. Forskning viser, at en sådan kost kan medvirke til at hindre tab af kognitiv formåen.

Foto: Shutterstock

Den sociale robot Paro er udviklet i Japan, og har efterhånden været på markedet i mere end 10 år. Den reagerer på berøring, lys, temperatur og tale. Blandt robotens kvaliteter skulle være, at den kan afhjælpe depression, angst og ensomhed samt reducere stress og hjælpe med at motivere patienter under rehabilitering.

Foto: Aaron Biggs/CC-BY-SA-2.0



passerer ind i hjernen, kan det imidlertid være forbundet med kraftige bivirkninger.

Princippet i at anvende vacciner til ikke blot at forebygge infektionssygdomme, men også til at hindre dannelsen af skadelige mængder af et af kroppens egne proteiner, har også stor interesse. Der har dog været problemer med, at vaccinerne også stimulerede skadelige immunreaktioner mod kroppens raske væv, og der har været bekymring for, om man efterfølgende ville kunne bremse sådanne skadelige reaktioner.

Man har forsøgt at konstruere vacciner og antistoffer på en måde, der kan omgå disse problemer, men

endnu uden dokumenteret positiv effekt. Mindst seks lægemidler har været testet i store fase-3 kliniske studier med tilsammen mere end 12.000 patienter og med samlede omkostninger, der oversteg 2,5 milliarder dollars. Men desværre uden succes. Der er dog fortsat håb om, at nye lægemidler, der angriber beta-amyloid-akkumuleringen i hjernen på nye måder og tidligere i sygdomsprocessen, kan få succes i fremtiden.

Manipulering af aldringsprocessen

Muligheden for at manipulere med aldringsprocesserne har altid fascineret mennesker. Nylige undersøgelser viser, at lav kalorieindtagelse

og motion måske kan give sund aldring, og forskellige lægemidler under afprøvning synes også at kunne påvirke aldringsprocesserne. I alle tilfælde lader det til at være relativt få, men bestemte cellulære processer som næringsstofsignaler, mitokondriernes effektivitet, proteinstofskifte og autofagi (nedbrydning af udslidte celledele), der konkret bliver påvirket.

En anden tilgang til at manipulere aldringsprocessen er med anvendelsen af blod fra yngre individer. Flere forsøg har vist, at blod fra yngre mus overført til ældre mus øger stamcelleaktiviteten og sænker aldringsprocesser i disse ældre mus. Den kognitive funktion hos



En familie på den japanske ø Okinawa takker for deres gode helbred og beder for sikkerhed og lykke. Om bønnerne virker skal være usagt, men et faktum er, at befolkningen på Okinawa hører til verdens længstlevende mennesker, hvilket formodentlig hænger sammen med deres diæt og livsstil.

Foto: U.S. Air Force photo/Naoto Anazawa

de ældre mus blev forbedret efter gentagen intravenøs administration af plasma fra yngre mus.

Firmaet Ambrosia i Californien planlægger at tilbyde ældre en plasmatransfusion fra yngre donorer til en pris af 8.000 dollars. I skrivende stund er et klinisk forsøg under etablering, hvor de rekrutterede deltagere ikke behøver at være syge eller specielt gamle. Deltagerne skal modtage 1,5 liter plasma over 2 dage, og deres blodprøver (taget lige før og 1 måned efter behandling) vil blive testet for blodmarkører for aldringsprocesser herunder inflammationsmarkører.

Et andet firma, Alkahest, vil teste Alzheimer-patienter, der får plasmatransfusioner med plasma fra unge donorer. Patienternes kognitive evne før og efter transfusionen vil blive testet.

Forskning, udvikling og innovation er således i rivende udvikling med henblik på at frembringe produkter eller nye procedurer, der kan påvirke aldringsforløbet. Forretningsmodellerne for lægemidlerne rettet mod længere levetid og/eller sund aldring vil blive forskellige fra forretningsmodellerne for klassiske

lægemidler rettet mod sygdomme. Det er nemlig kun disse klassiske lægemidler, der kan opnå godkendelse, registrering og tilskud fra de offentlige myndigheder, som systemet er i dag.

Afprøvning af ny teknologi

Innovation i relation til aldring ses i mange forskellige sammenhænge blandt andet indenfor kirurgi og kosmetik.

Til at validere ny innovation er der gennem de senere år etableret mange såkaldte test-beds, der fokuserer på validering af nye produkter og processer, og living labs, der fokuserer bredere på idé-fase, udviklingsfase og validering.

De testede teknologier kan for eksempel være teknologi til at hjælpe hukommelsestab i praktiske situationer eller afprøvning af forskellige sensorer. Afprøvningen skal ske i realistiske rammer, der svarer til hvordan teknologien vil blive anvendt af brugerne.

Living labs i Holland har for eksempel testet et hjemme-kompas, der kan vise lettere demente mennesker vejen hjem til deres bolig og en særlig lampe, der udsender lys, der

hæmmer menneskers produktion af melatonin gennem dagen (ligesom sollys). Melatonin-produktionen vil så stige i aften- og nattetimerne og sikre et bedre søvn mønster. Lampen udsender en mere normal lysform i aften timerne.

Apps og sociale robotter

En del innovation er rettet mod ældre med demens, hvor pleje og stimulering af den demente er i fokus. Der udvikles således mange nye apps rettet mod denne målgruppe. Et eksempel er app'en ReACT, som kan anvendes af mennesker med demens i let til moderat stadie til at støtte hukommelse, struktur og kommunikation i hverdagen. Pårørende eller andre kan desuden nemt støtte den daglige brug af app'en via et separat login. Omdrejningspunktet i ReACT-appen er en kalender, hvor der nemt og fleksibelt kan skiftes mellem forskellige visninger, og hvor brugeren altid kan finde "nu" via tydelige animationer.

Et andet eksempel er *Idify*, som kan vise den dementes livshistorie i tekst, billeder, video og musik. Tanken bag app'en er, at den kan være med til at skabe et værdigt liv med demens, uanset om det gælder pårørende, plejeperson eller den dement ramte selv.

Der udvikles også sociale robotter rettet mod ældre med demens. Disse udvikles til at kunne vise underholdning (fortælle historier, vise film, spille musik), til at kunne stimulere (teste hukommelsen via spørgsmål, lave spil), til at kunne give personlig assistance og sikkerhed. Sociale robotter udvikles mange steder i verden. For eksempel udvikler det svenske firma Furhat Robotics sociale robotter til diagnose og behandling af svigtende hukommelse.

Droner og virtual reality

Ny innovation kan være mere rettet mod plejepersonale og familien til ældre med demens end mod patienten selv, hvor fokus er på opsyn og stimulering. Der udvikles

således droner til at spore demente mennesker, som er forsvundet fra deres hjem i mere øde egne af USA. Disse droner kan være udstyret med kameraer eller med termiske måleinstrumenter. Prisen for sådan en drone ligger lige nu på omkring 10.000 dollars.

Demente mennesker, der udenfor deres hjem har mistet orienteringen, kan også findes ved brug af app'en *Care Tracker*, der er rettet mod pårørende og plejepersonale til demente.

Virtual reality spås en fremtid i forhold til at afhjælpe demente menneskers problem med at færdes i deres fysiske og sociale miljø og til at mindske deres isolation over tid. Virtual reality kan eksempelvis bruges til at træne demente menneskers navigation, for eksempel at skulle bevæge sig igennem en hospitalslobby. Virtual reality giver mulighed for at lave individuelle træningsprogrammer for demente patienter. En sådan stimulering kan måske bevare noget af den

neuroplasticitet, mennesker besidder i form af at kunne danne nye synapser i hjernen. Demente kan placeres risikofrit i forskellige virtuelle miljøer og deres reaktioner kan testes i disse virtuelle miljøer.

Forskning omkring sund aldring og livsstil

Flere studier har gennem årene vist, at kontrol af blodtrykket og blodsukkerniveauer generelt er forbundet med sundere aldring og måske beskyttelse mod tab af hukommelse.

For nyligt har forskere med succes påvist, at middelhavsdieten (fisk, grøntsager, frugt og olivenolie) kombineret med motion og et aktivt socialt liv kan mindske tabet af kognitiv formåen hos mennesker. I forhold til en kontrolgruppe lå gruppen med diæt, motion og aktivt socialt liv bedre i præstationen i forskellige kognitive tests.

Flere kost- og drikkevareingredienser er foreslået at modvirke udvikling af demens, det gælder for

eksempel ekstrakter af tempeltræet (*Ginkgo biloba*), men flere studier til at validere effekten af disse ingredienser er påkrævet.

Et reduceret indtag af kalorier, uden at der er tale om fejlernæring, kaldes kalorierestriktion. Nogle studier antyder, at en kalorierestriktion på omkring 15 % per dag ville være gavnlig for mange mennesker. Kalorierestriktion mindsker frigivelsen af vækstfaktorer som væksthormon, insulin og insulin-lignende vækstfaktor-1, der accelererer aldringsprocesserne i mange organismer. Kalorierestriktion synes at stimulere næringssignalveje forbundet med modstandsdygtighed mod stress og øget overlevelse ved aldring. Disse signalveje blev måske oprindeligt udviklet til at modstå perioder med mangel på fødevarer, omstændigheder der formentlig er af større betydning for kortlivede organismer som mus i forhold til organismer med længere levetid som aber og mennesker. Forskning har vist, at kalorierestriktion øger abers levetid

"VILD MED VIND" - WORKSHOP OM VINDMØLLER

Hvorfor ser vindmøllen egentlig ud som den gør, og hvordan opstiller man den mest effektive vindmøllepark?

I denne workshop arbejder deltagerne som vindmølleingeniører, når de i små grupper tester modeller af vindmøller for at finde ud af, hvilken model og opstilling der kan producere mest strøm. Der skal bl.a. eksperimenteres med antal af vinger og vindhastighed samt opstilling af forskellige vindmølleformationer.

Workshoppens undervisere er studerende ved civilingeniør-uddannelsen i Energiteknologi på SDU.

Mere information og tilmelding:

www.sdu.dk/tek/brobygning

Find vores forskellige ingeniøruddannelser på:

www.sdu.dk/ing

Kontakt:

Tlf. 6550 7444 eller brobygning@tek.sdu.dk



Nye lægemidler mod aldringsprocesser?

Nedenfor gives en række eksempler på lægemiddelkandidater under udvikling og afprøvning, der kan modvirke aldringsprocesser.

- Resveratrol findes i vindruer og rødvin. Stoffet synes at modvirke aldringsprocesser i mus og aber, der fik fedtholdige måltider. Stoffet virker på lignende måde som kalorierestriktion. Stoffet virker måske gennem de cellulære stoffer sirtuin, der også er forbundet med sund aldring. Resveratrol synes at modvirke oxidativt stress i aldrende hjerter, neurodegeneration og diabetes.
- Rapamycin er et naturligt produkt udskilt af jordbakterier. Rapamycin stimulerer cellernes evne til at nedbryde egne celledele (autofagi), virker hæmmende på immunsystemet og øger levetiden af gær, fluer, orme og mus.
- Spermidine er også et naturligt forekommende stof, der stimulerer autofagi og forlænger levetiden hos gær, fluer og orme.
- Metformin anvendes normalt til behandling af type 2 diabetes. Metformin hæmmer leverens glukoseproduktion og øger vævenes insulinfølsomhed. Metformin påvirker aldringsprocesserne tilsvarende kalorierestriktion. Metformin synes også at hæmme kronisk inflammation og oxidativt stress.
- Astmastoffet Montelukast blev i 2015 vist at øge kognition og neuronvækst i ældre rotter. Montelukast blokerer inflammationsprocesser, der er vigtige for neural inflammation, celledød og aktivering af mikrogliacellers immune aktiviteter, der beskadiger raske neuroner.

ved at reducere deres risiko for at udvikle diabetes, hjertekarsygdomme og cancer.

Det er vanskeligt at generere relevante data fra mennesker. Men det er rapporteret, at japanere fra øen Okinawa dyrker mere motion, spiser mindre samt generelt lever længere sammenlignet med japanere på de Japanske hovedøer. Da nogle japanske familier fra Okinawa flyttede til Brasilien og tilpassede sig en mere vestlig levevis, tog de på i vægt og oplevede et fald i levetiden på gennemsnitligt 17 år.

At faste synes også at begrænse aldringsmekanismer. Ved faste undergår kroppen metaboliske ændringer, glykogenreserver tømmes, glukosesyntese i blandt andet leveren stimuleres sammen med dannelsen af fedtsyrer og ketonstoffer. Den producerede glukose forbruges primært af hjernen. Periodelvis faste

At danse er påvist at mindske risikoen for udviklingen af demens. Så det er bare med at komme i gang!
Foto: Colourbox



synes at dæmpe skadevirkningerne af Alzheimers, Parkinsons og Huntingtons sygdom.

Hvad angår motion, påvirker det tilsyneladende ikke levetiden specielt – men til gengæld synes det

at øge livskvalitet og sænke risiko for sygdomme. Hjernen kan trænes, så hjernemotivitet synes også vigtig til at forebygge eller bremse udviklingen af demens. Formen for motion kan være vigtig. At danse er påvist at mindske risikoen for udviklingen af demens. Neuroplasticitet stimuleres tilsyneladende ved dansen, og denne stimulering synes vigtig til at modvirke udviklingen af demens.

Hvad kan vi forvente?

Sund livsstil og ny teknisk innovation er i stigende grad dokumenteret at kunne hjælpe os med at få en sund aldring. Vi vælger selv vores livsstil, og megen ny innovation bliver mere og mere tilgængelig for det enkelte menneske.

Vi ser en hastig udvikling af ny teknologi, der kan stimulere ældre til at bedre deres hjernefunktion og til at holde ældre uafhængige af plejesektoren i så lang tid som muligt. Her vil vi se markante ændringer for ældre de kommende år. Det går noget trægere med udvikling af lægemidler mod demens. Lægemiddeludviklingen vil formentlig ske i spring med store tidsmæssige mellemrum, og implementering af lægemiddel fremskridt vil tage lang tid. ■

VÆLG DEN RIGTIGE UDDANNELSE

Få mere at vide om de naturvidenskabelige uddannelser på Københavns Universitet. Så er der større chance for, at du vælger en uddannelse, som matcher dine ønsker. Du kan blandt andet:

- Gå i studiepraktik
- Blive studerende for en dag
- Besøge os med din klasse
- Få hjælp til dit studieretningsprojekt
- Se film om uddannelserne

Læs mere om vores uddannelser og dine mange muligheder på

science.ku.dk/ba



Læs på SCIENCE



@scienceku



KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET

Stemmingsfoto fra Kasper Nørgaards laboratorium, hvor studerende arbejder med forskellige aspekter af molekylær elektronik.

Foto: Kasper Nørgaard



Foto: Kasper Nørgaard

PÅ VEJ MOD ORGANISKE COMPUTERCHIPS

Forfatter

Carsten R. Kjaer
Aktuel Naturvidenskab
crk@aktuelnaturvidenskab.dk



DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

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

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

Hvis man kan erstatte silicium med organiske molekyler i computerchips, vil det bane vejen for langt mere fleksible og miljøvenlige chips. Det kræver, at man populært sagt kan sætte ledninger på de organiske molekyler. Den videnskabelige "nød" vil Kasper Nørgaard og kolleger gerne knække.

Kunsten at samle og forbinde molekyler til simple kredsløb blev tilbage i år 2001 udnævnt til årets videnskabelige gennembrud af tidsskriftet *Science*. Siden har forskere verden over arbejdet intenst på at udfolde de lovende perspektiver i det, man kalder for "molekylær elektronik". Umiddelbart kan man se molekylær elektronik som den ultimative minituarisering af elektroniske apparater, idet for eksempel ledninger og elektroder i de mindste kredsløb,

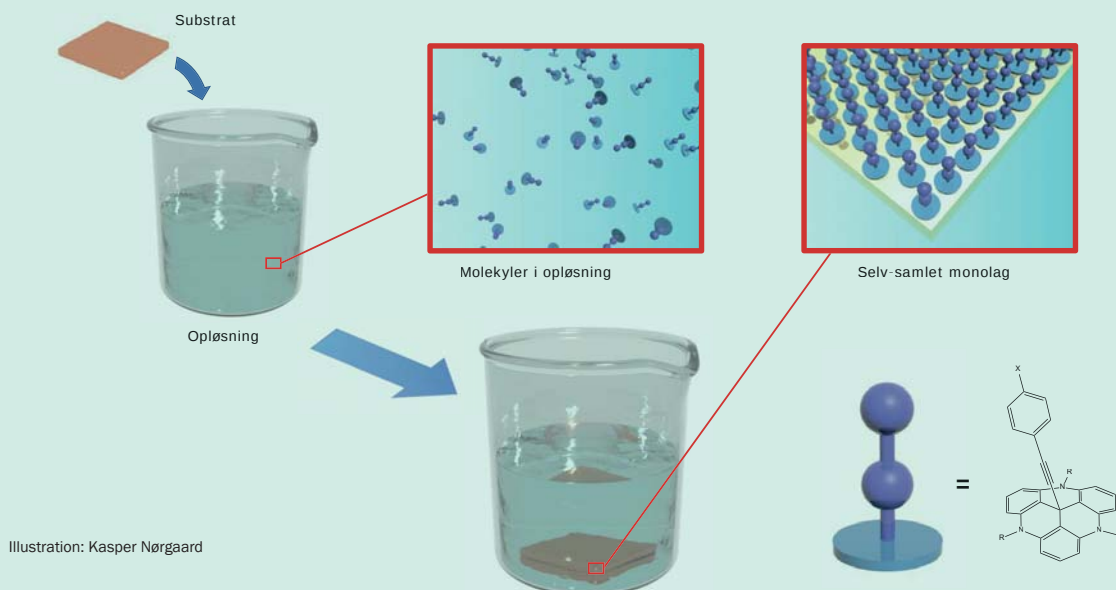
man kan forestille sig, vil bestå af enkelte molekyler.

»Men det er nu ikke kun størrelsen, det kommer an på,« fortæller Kasper Nørgaard, som er lektor ved Kemisk Institut og Nano-Science Centret ved Københavns Universitet. »I virkeligheden er det nok mere interessant, at vi ved at bygge molekylære komponenter op fra bunden med organiske molekyler vil åbne op for en hel verden af muligheder, hvor næsten kun fantasien sætter grænser.«

Uendelige variationsmuligheder

Kasper illustrerer sin pointe med udviklingen af processorer til computere. Siden opfindelsen af det integrerede kredsløb i 1958 er antallet af transistorer, det har været muligt at presse sammen på det samme areal på en chip, blevet fordoblet cirka hvert andet år. Denne udvikling, som er kendt som *Moore's lov*, er baggrunden for, at computers ydeevne er vokset så voldsomt, idet antallet af transistorer på processorerne bestemmer deres ydeevne.

De organiske molekyler i den molekylære chip



De funktionelle organiske molekyler i forskernes molekylære chip har karakter af såkaldte selv-samlende monolag. At de er selv-samlende betyder, at de dannes spontant fra en opløsning ved adsorbering på en overflade (i molekylær elektronik vil denne overflade typisk være af guld). Her organiserer molekylerne sig i mere eller mindre velordnede domæner i et enkelt lag.

Kasper Nørgaard og kolleger arbejder i projektet med et molekyle kaldet triazatriangulen (nederst til højre), som glimrer ved at have form som et kurvet

ringsystem. Denne fungerer som en platform, hvorpå der kan hæftes andre molekyler (i det viste eksempel er det en kort ledning i form af ethylen-phenylen). Fordelen ved denne TATA-platform, som den kaldes, er dens geometri og store "fodaftrek" på underlaget som for eksempel giver god rumlig plads til, at molekyler, der hæftes på platformen, kan ændre form. På nuværende tidspunkt er TATA-platformens binding til guld ikke stærk nok til, at længere molekyler kan bindes til den. Derfor vil forskerne i det nye projekt søge at udvikle nye varianter af molekylet, der binder stærkere til guld.

»Man har længe vist, at der vil være en teoretisk grænse for, hvor langt man kan nå med traditionel teknologi, hvor man med litografiske teknikker skærer og ætser de elektriske kredsløb ud af enkelt stykke silicium,« siger Kasper. »I dag er man imidlertid i stand til med traditionel teknologi at lave de mindste kommercielle siliciumbaserede kredsløb i en størrelse på kun 10 nanometer, og næste generations "7-nanometer teknologi" er allerede på trapperne. Selvom et kredsløb baseret på molekylær elektronik stadig vil være en del mindre (2-3 nm), så vil der kun være en begrænset gevinst ved at erstatte silicium-baseret teknologi med ny molekylær elektronik, hvis man alene kigger på størrelsen i forhold til ydelsen.«

Til gengæld vil man med molekylær elektronik kunne bygge chips, der er langt mere fleksible end nutidens siliciumchips.

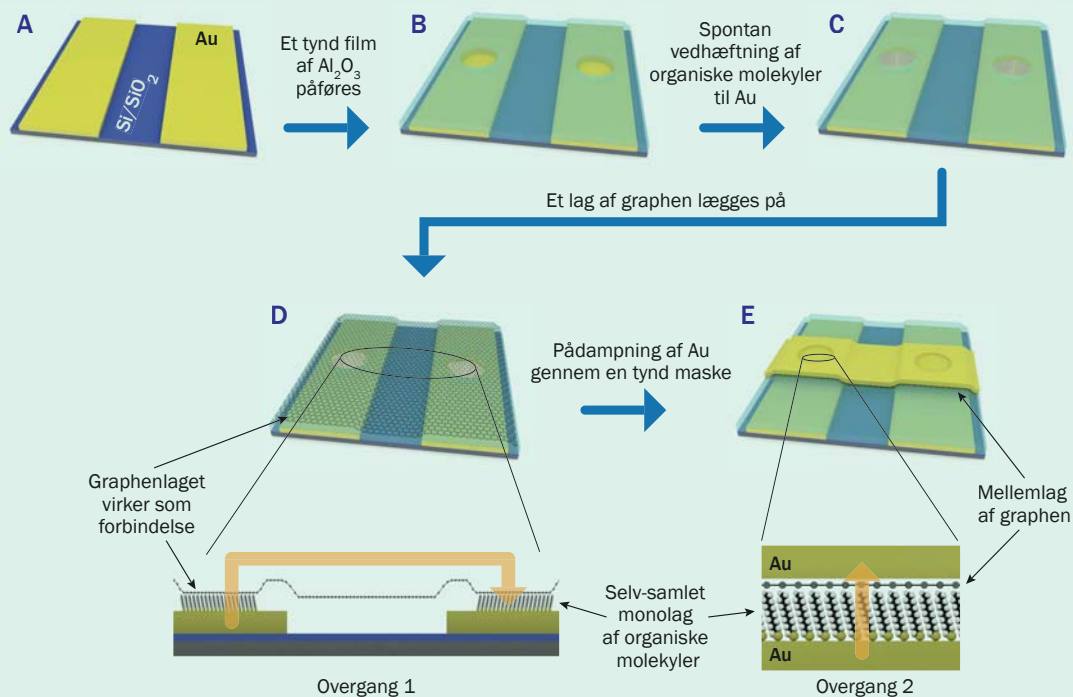
»I siliciumchips har man basalt set kun to parametre at skrue på for at variere på komponenternes egenskaber – nemlig størrelsen og graden af "doping", altså at man inducerer forureninger af andre grundstoffer i siliciums krystalgitter. Til sammenligning kan man i den molekylære elektronik variere chippens egenskaber ved at benytte forskellige organiske molekyler i de elektriske kredsløb. Og med omkring 10 millioner kendte organiske molekyler har man i praksis uendeligt mange muligheder for at fin-tune egenskaberne af sine elektroniske "devices",« siger Kasper. »For i en molekylær chip behøver

molekylerne ikke nødvendigvis bare opføre sig som små ledninger. Visse molekyler kan nemlig designes til at virke som elektriske komponenter som ensrettere eller kontakter, hvor strømmen populært sagt kan tændes og slukkes efter behov. På den måde kan de danne basis for avancerede elektriske kredsløb, hvor molekylernes funktion allerede er tænkt ind i syntesedesignet.«

Kontakter med udfordringer

Organiske molekyler har for længst holdt deres indtog i kommercielle elektroniske apparater som solceller og lysemitterende dioder (OLED) brugt i fladskærme, hvor det er molekylernes optiske egenskaber (det vil sige farve og evne til at absorbere eller udsende lys), der udnyttes. Men endnu har vi altså ikke set organiske molekyler i kom-

Sådan laver forskerne deres chip



Figuren viser de forskellige trin i fremstillingen af den molekylære chip, som Kasper Nørgaard og kolleger arbejder med. Først lægges bundelektroder af guld på en tynd plade af silicium. For at sikre, at der kun kan løbe strøm, netop hvor forskerne gerne vil have det, deponeres et isolerende lag af aluminiumoxid ovenpå guld, og i dette ætzes små huller, så der kun er kontakt til guld, der herigennem. Hele chippen puttes nu ned i en opløsning af organiske molekyler, hvor de organiske molekyler spontant hæfter sig på guld i bunden af de små brønde i et enkelt lag. Herefter lægges et lag graphen ovenpå herligheden, hvilket betyder at der nu er skabt elektrisk kontakt mellem molekylerne i de

to brønde. Forskerne kan nu måle på de elektroniske egenskaber af de organiske molekyler i brøndene i en situation, hvor strømmen løber gennem molekylerne to gange (overgang 1).

Et sidste skridt er at dampe guld ovenpå laget af graphen. Før i tiden ville det have ødelagt funktionen af de organiske molekyler i brøndene, men i dette design af chippen virker graphen også som et beskyttende lag, så en topelektrode af guld kan påføres, uden at det går ud over de organiske molekylers funktion. Når der er påført en guldelektrode, kan forskerne måle strømmen, der går gennem molekylerne fra bund- til topelektroden (overgang 2).

mercielle computerchips. Står det til Kasper Nørgaard og hans kolleger, vil det dog kun være et spørgsmål om tid.

I molekylær elektronik er det molekylernes elektriske egenskaber, det vil sige deres evne til at transportere elektroner, der er fokus på. En af de helt store udfordringer, når man vil undersøge de elektriske egenskaber af organiske molekyler, er, at det er meget svært at sætte en ledning på et enkelt molekyle. Og hvis man kun kigger på en opstilling med blot et enkelt molekyle ad gangen, der sættes en ledning til, bliver beskrivelsen

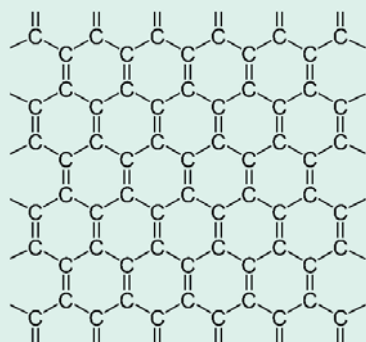
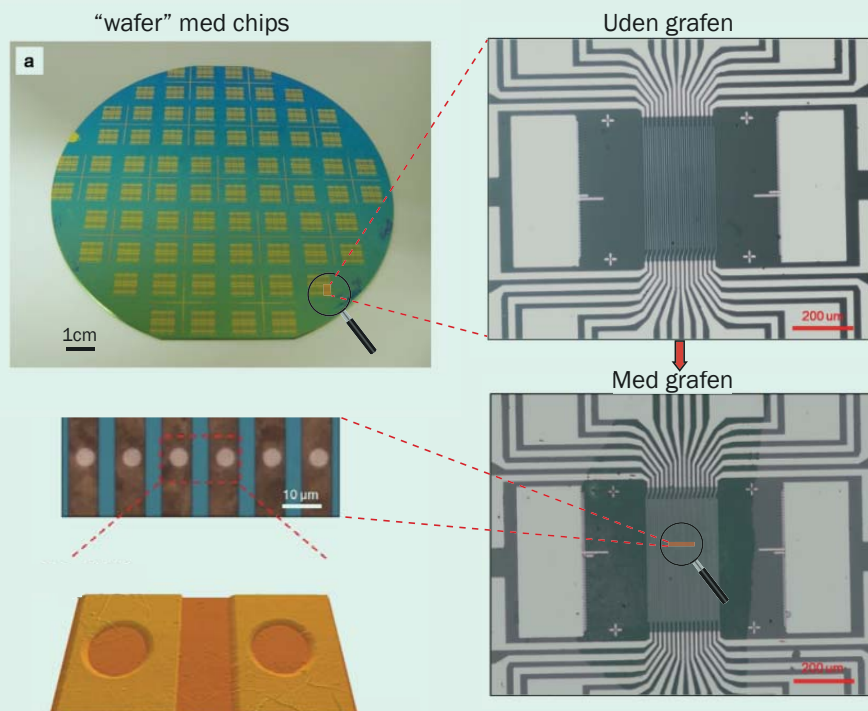
af, hvad der foregår en statistisk øvelse, der kræver tusindvis af målinger. »Rent grundvidenskabeligt er dette spor med at kontakte et enkelt molekyle interessant at følge. Men for at komme tættere på teknologisk anvendelse, kigger vi nu i stedet på såkaldte monolag – det vil sige selvsamlede lag af organiske molekyler, der kun er et enkelt molekyle tykke, og som er klemte inde mellem to elektroder,« siger Kasper. »Fordelen ved det er, at man kan lave rigtige devices – altså permanente funktionelle enheder, som man populært sagt kan stille op på hyl- den og tage ned igen et år efter og

måle nøjagtigt det samme. Samtidig vil funktionen af en sådan device stadig være knyttet tæt til, hvad der foregår på molekyleskalaen.«

Kasper fortæller, at man længe har haft kig på disse selvsamlende monolag (forkortet SAM efter det engelske Self-Assembled Monolayers) til funktionelle enheder. I første omgang lavede man sådanne enheder ved at hæfte molekylerne til en guldoverflade, der fungerede som den ene elektrode og derefter dampe guld ovenpå igen som topelektrode. Det har dog vist sig, at denne fremgangsmåde påvirker de

Chip med graphen

Øverst til venstre ses en tynd silicium skive – en såkaldt wafer – med 72 felter, der hver indeholder 6 af forskernes chips. Til højre ses et mikroskopfoto af en enkelt af disse chips (øverst), som påføres en topelektrode af graphen (nederst). Laget af graphen er kun et atomlag af kulstof tykt, og derfor ser man kun forskellen på de to chips som en ganske svag mørkfarvning af chippen med graphen-laget. Nederst til venstre er vist den grundlæggende enhed i chippen (optaget med et atomarkraft-mikroskop), som består af to mikroporer, hvori der befinder sig et monolag af organiske molekyler. De organiske molekyler i de to mikroporer er i elektrisk kontakt med hinanden via det ultratynde lag af graphen, der ligger ovenpå som en dug (man ser tydeligt folder i "dugen").



Materialet graphen er opbygget udelukkende af kulstofatomer, der er organiseret i en hexagonal netværksstruktur. Graphen har mange bemærkelsesværdige egenskaber – for eksempel er det cirka 200 gange stærkere end stål, det leder både varme og strøm meget effektivt og er næsten gennemsigtigt.

organiske molekyler så meget, at det ødelægger deres funktionelle egenskaber. Derfor har man måtte opgive denne strategi.

I stedet har Kasper Nørgaard med sine kolleger for nylig anvist en ny vej ved at erstatte guld med graphen som topelektrode. Graphen består udelukkende af kulstofatomer organiseret i en hønsenet-lignende struktur, der kun er et enkelt atomlag tykt. Det smarte ved at bruge graphen er, at det både er elektrisk ledende og giver et "blødt" kontaktpunkt til molekylerne nedenunder, så de bevarer deres integritet. Og

så er det gennemsigtigt, hvilket giver mulighed for at lyse igennem det og på den måde have en ekstra måde at påvirke molekylerne i chippen på i stedet for udelukkende med elektrisk strøm.

På nyt land

Man skulle måske ikke tro, at det betyder det helt store, om man udskifter det ene elektrisk ledende materiale med et andet i den ene elektrode i en "molekylær chip", men i praksis er det en helt anden kemi, der nu er på spil. Så derfor bevæger Kasper og hans kolleger sig i høj grad på nyt land i forhold til at

forstå og beskrive detaljerne i, hvad der foregår i deres molekylære chip.

»Vi forsøger nu at undersøge, hvor langt vi kan skubbe vores chip – og hvad den egentlig kan præstere,« siger Kasper. Til det formål har han for nylig sammen med sine kolleger modtaget en bevilling fra Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers.

»I dette projekt vil vi specielt fokusere på at forstå kontaktpunktet mellem vores graphen-elektroder og de enkelte lag af molekyler, vi forbinder dem til,« fortæller Kasper. »Graphen

Om forskeren

Kasper Nørgaard er lektor ved Kemisk Institut og Nano-Science Center på Københavns Universitet, hvorfra han også modtog sin ph.d.-grad i materialekemi i 2005. Kasper forsker i grundvidenskabelige spørgsmål omkring brugen af organiske molekyler som aktive komponenter i elektriske kredsløb, og han leder et team af forskere, der med en bevilling fra Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers undersøger en ny type molekyllær chip som beskrevet i artiklen. Kaspers forskningsgruppe arbejder desuden med at udvikle og fremstille graphen-materialer i stor skala til anvendelse i blandt andet industrielle coatings og printbar elektronik.



Foto: Jes Andersen

Videre læsning

Kasper Nørgaards projekt *Getting in contact with molecules* er finansieret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers som et såkaldt DFF-Forskningsprojekt 2. Se DFF's bevillingsliste på ufm.dk/forskning-og-innovation

Tao Li et al. (2013): Ultrathin reduced graphene oxide films as transparent top-contacts for light switchable solid-state molecular junctions, *Advanced Materials*, 25, 4164-4170

Kasper Nørgaard og Thomas Bjørnholm: Elektronik på molekyllærskala. *Aktuel Naturvidenskab* nr. 3/2010.

er et relativt nyt materiale, og vi ved meget lidt om dets egenskaber som elektrode i elektriske kredsløb. Projektet sigter mod at forstå og udvikle molekyllære designs, der sikrer den bedst mulige kontakt mellem graphen-elektroder og molekyllære komponenter.«

Forankringens kunst

I lighed med tidligere designs består bundelektroden i Kasper og kollegers chip af guld, hvorpå man forankrer de molekyler, der kommer til at virke som elektroniske komponenter mellem de to elektroder. I denne chip – samt i langt de fleste andre molekyllærelektroniske anordninger eller testsystemer bruger man en såkaldt thiol-gruppe (en organisk forbindelse, der indeholder en funktionel gruppe bestående af svovl og hydrogen) til at forankre enkelte molekyler eller monolag af molekyler til guldelektroden. Thiol-grupper har dog en række begrænsninger, som gør, at forskerne som en del af projektet vil udvikle nye typer af forankringsgrupper til guldelektroder.

»De nye forankringsgrupper skal gøre det muligt både at kontrollere tætheden og orienteringen af de molekyllære komponenter, der kobles til disse forankringsgrupper

og derefter forbindes til graphen-topelektroden,« siger Kasper. Han fortæller, at de her vil bruge en lovende tilgang, hvor de forbinder den molekyllære komponent vinkelret til et molekyle, der har en struktur som et let kurvet ringsystem (en såkaldt TATA-plattform, hvor TATA står for triazatriangulen).

»Ved at styre tætheden af de molekyllære komponenter kan vi blandt andet undersøge, om de enkelte molekyler på chippen populært sagt "snakker med" hinanden eller om de fungerer som isolerede molekyllære komponenter, der er orienteret parallelt med hinanden,« siger han. Det er et led i at afklare, hvor tæt molekylerne i de selvsamlende monolag af molekyler kan ligge på hinanden, uden at de gensidigt påvirker hinanden, så der opstår nye energitilstande, man ikke er interesseret i. På fagsproget kaldes sådanne vekselvirkninger mellem molekyler for cross-talk, og det er en effekt, man gerne vil undgå i designs, hvor funktionen gerne skal være koblet snævert til funktionen af det specifikke molekyle.

Grønne chips

Perspektivet i at forske i molekyllær elektronik som mulig erstatning for silicium-baserede computerchips

handler ikke kun om, hvor små man kan gøre sådan chips, hvordan de fungerer, og hvad de i sidste ende kan bruges til. Der kan således også være betydelige miljømæssige fordele ved i fremtiden at erstatte silicium med organiske molekyler.

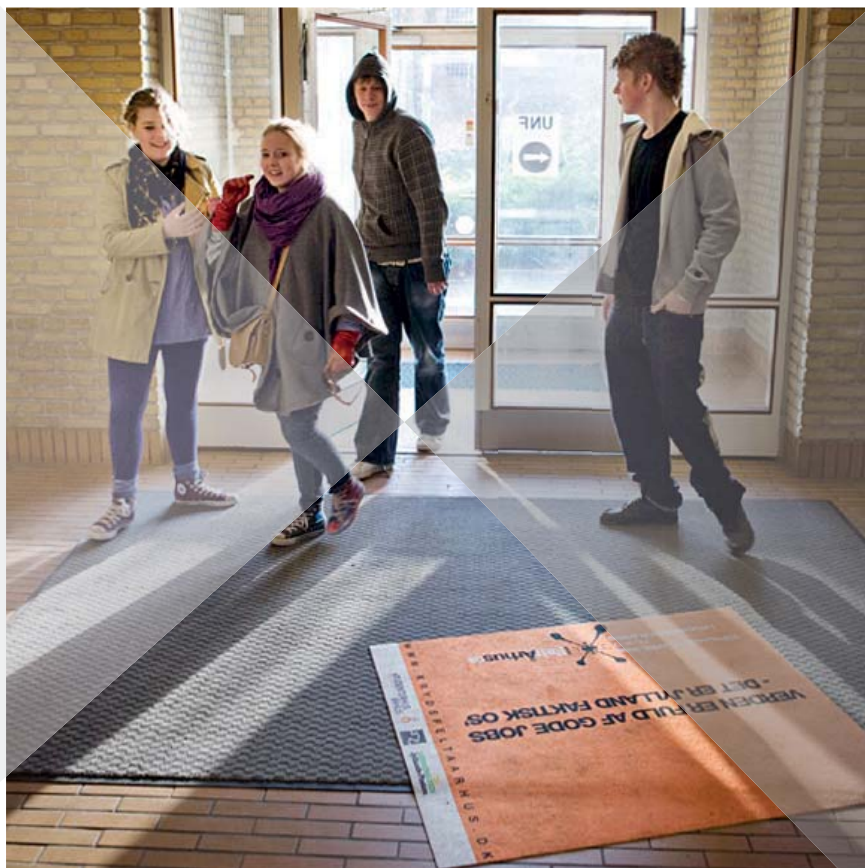
»Et stort problem ved siliciumteknologi er energiforbruget – både i produktion og i drift. De fleste af os kender formentlig problemet med, at computerens processorer bliver meget varme, så der skal indbygges indtil flere kølere i en pc. Molekyllær elektronik er derimod som oftest baseret på selv-samlende systemer, og derfor er fremstillingen meget mindre energikrævende. Samtidig fungerer molekyllære devices ved elektron-tunnelering, som er et kvantemekanisk fænomen, hvor elektroner kan springe over eller igennem barrierer uden at bruge energi. Det betyder, at varmeafledning og såkaldt lækstrøm – uønsket strøm, der løber igennem eller på overfladen af et isolerende materiale – ikke spiller nogen nævneværdig rolle. Molekyllær-elektroniske processorer vil med andre ord slet ikke blive varme på samme måde, som vi kender det i dag. Derfor kan molekyllær elektronik være med til at give computeren en mere grøn fremtid,« slutter Kasper. ■



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

TILBUD

TIL DIG OG DINE ELEVER FRA
AARHUS UNIVERSITET



DET RULLENDE UNIVERSITET

Ønsker du
at få studerende fra
Aarhus Universitet
til at undervise
dine elever
i en hel dag?

Det rullende Universitet
har stadig plads
til at undervise flere
gymnasier i dette skoleår.

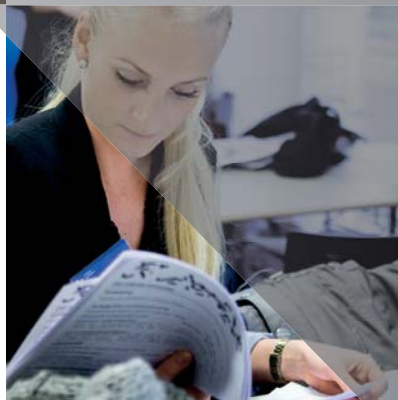
Læs mere og ansøg på:
au.dk/detrullendeuniversitet

MENTORPROJEKTET **SUBUNIVERSITY**

Projektet er målrettet elever
fra ikke-akademiske hjem, som har
evnerne til at gennemføre en
universitetsuddannelse.

Eleverne får tilknyttet
universitetsstuderende som
mentorer og deltager i
særlige arrangementer på
Aarhus Universitet.

Læs mere på au.dk/subuniversity



AARHUS
UNIVERSITET

BOG

7 ting vi plejer at tro på

Anmeldt af Jens Morten Hansen,
Geolog og adj. professor i naturfilosofi.
jmh@geus.dk

Biokemikeren og filosofen Jesper Hoffmeyer har skrevet en let forståelig bog, og jeg opfatter den som en usædvanlig begavet og belæst naturvidenskabsmands endelige opgør med Newtonismens afsky for uforudsigelighed. En stor gruppe af naturforskere accepterer stadig ikke, at verden – fra det mindste molekyle til de største himmellegemer – kan styres af noget som helst andet end nødvendighed. Trods bogens beskedne omfang kommer den vidt omkring i naturfilosofiens hjørner og afdækker med talrige gode eksempler, at verden ikke alene kan forklares som *ting* – som ren mekanik og kemi – men at der også findes en *semiosfære*, en tegnverden, hvor vi biologiske væsner via sansningen tillægger verden betydning og kan træffe valg mellem mange muligheder for handling. Det gælder i varierende grad, hvad enten vi taler om en encellet organismes ernæring, en tigers jagtplanlægning, en elefantflokks sociale hierarki eller et menneskes forståelse af egen eksistens.

Det er ikke muligt i en boganmeldelse at gøre bare nogenlunde kortfattet rede for, hvad biosemiotik er, dvs. den forståelse af livets grundtræk, som Jesper Hoffmeyer selv har været en betydelig drivkraft for at udvikle og udbrede, og som har tilføjet især biologien mange nye, vigtige begreber som for eksempel *emergens*, *sympati* og *empati*. Jeg synes Hoffmeyer selv forklarer samspillet mellem tegnverdenen (det virtuelle) og

tingverdenen (det virkelige) kort og præcist i slutkapitlet om den frie vilje, hvor han siger:

»Vores evne til at placere os i virtuelle som-om-verdener er en bestandig ingrediens i vore handlinger. Og hver eneste gang, vi må tage et valg i den virkelige verden, hvori vores liv nu engang udspiller sig, drejer det sig derfor om at få den virtuelle verdens dynamik til at spille sammen med den virkelige verdens muligheder.«

På solid naturvidenskabelig grund

Ja, netop verdens muligheder og det enkelte individs mulighed for at vælge mellem dem giver biosemiotikken stor forklaringskraft i forhold til den nøgne genetik, hvor selectionen (valgene) kun fungerer på arts- og populationsniveau – hvilket oftest glemmes i den allestedsnærværende vulgærdarwinisme. Vi væsener med en virtuel forestillingsverden er med andre ord i stand til at afvige fra den pinligt nøjagtige forudbestemmelse, som fra Newtons og Laplace's dage har været anset for nedfældet i universet, siden det skabtes.

Men her kommer så Hoffmeyer og forklarer, at vi kan handle delvist frit, kun begrænset af de virkelige muligheder (udfaldsrum). Der er på solidt naturvidenskabeligt grundlag skabt en anden begrebsverden, der i sin tidlige form fra 1800'tallets slutning skyldtes den amerikanske geofysiker C. S. Peirce, som videreudviklede Immanuel Kants betydningsfulde filosofi, men som

– egentlig uden grund – i meget lang tid har været anset som i modstrid med klassisk fysik, kemi, genetik og biologi. Problemet med semiotikkens accept er næppe, at den ikke bygger på solid naturvidenskabelig grund, men snarere at mange naturforskere mangler basal filosofisk interesse og skoling, og at de i konsekvens af denne svaghed sværger til det relativt simple, mål- og modellerbare, og at udviklingshistoriske naturvidenskaber såsom astrofysik, geologi, palæontologi, økologi og evolutionsteori ikke uden uløselige problemer kan presses ind fysikkens og kemiens ahistoriske forståelsesrammer.

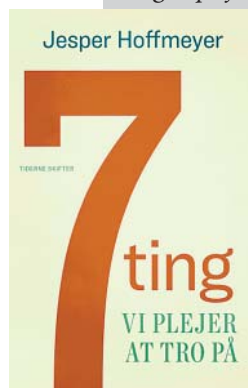
Filosofisk skoling

Bortset fra bogens begyndelse, hvor der optræder en del "stråmænd" om, hvad Hoffmeyers modstandere nok mener, og hvorfor det er forkert, er bogen bemærkelsesværdig fri for raids mod de mange "hard-core" fysikere, kemikere og molekylærbiologer, som gennem tiden har fremstillet semiotikken som nonsens eller ren spekulation, og som vel nødvendiggjorde, at Hoffmeyer måtte tage til det filosofisk bedre skolede Aarhus Universitet for at få doktorgraden.

I de senere år er også Niels Bohr Institutet kommet godt med på den filosofisk skolede vogn ved for eksempel konferencer og sommerskoler med så fremtrædende naturfilosoffer som fysikeren Roger Penrose, evolutionsbiologen Richard Dawkins og lægen Stuart Kauffman. Jeg husker for eksempel

FAKTA

Jesper Hoffmeyer: 7 ting vi plejer at tro på.



Tiderne skifter 2017. 188 sider, 249,95 kr.

en diskussion mellem Kauffman, der går ind for semiotikkens idéer, og Dawkins, der vel deler synspunkter med den mest hårdkogte kerne af genetikere og molekylærbiologer, hvor Kauffman sagde (min oversættelse) »Hvis den biologiske evolution skal forstås som udelukkende drevet af generne, så er en bil og et tærskværk også resultat af den biologiske evolution.« Men i Kauffmans og Hoffmeyers forståelse har opfinderne af bilen, tærskværket og ethvert andet "kunstigt" produkt levet og udviklet sig i blandt andet en virtuel som-om-verden, så de har kunnet forestille sig, udvikle, anvende og træffe de valg, der har realiseret enhver form for teknik i den virkelige verden.

Lægger op til en dyb diskussion

De "7 ting vi plejer at tro på" beskriver Hoffmeyer kort sådan: 1) Der er spørgsmål, som kun Gud kan besvare, 2) Verden består dybest set af ting, 3) Naturen er dybest set styret af naturlove, 4) Logik er hævet over krop, etik og æstetik, 5) Viden er en sum af informationer inde i hovedet, 6) Psyken er kroppens blinde pasager, og 7) Den frie vilje er uforenelig med naturvidenskaben.

Med påstanden om, at disse 7 ting, vi menes at tro på, ikke passer, er der ikke alene lagt i kakkellovnen til en dyb diskussion af den biologiske verden, men også af den uorganiske verdens tegn. Det vil sige de strukturelle relationer mellem tingene, og de spor og virkninger efter verdens gang, som er nedfældet i

tingene, og som overhovedet gør det muligt for os at få en opfattelse af verden gennem sansningen og forestillingsevnen.

Det er de tegn (strukturelrelationer), der muliggør vores kronologiske ordning af hændelsesforløb, hvad enten det gælder dagligdagens tegnlæsning (der er fodspor i sneen; altså har nogen gået her, efter det sneede) eller videnskabsdiscipliner som geologi (lagene er foldet; altså er de foldet, efter de blev aflejret). Det er menneskers og andre dyrs evne til at genkende former, farver, lugte, smagsindtryk, kulde, varme, smerter uden hvilke evner, verden ville fremstå komplet uforståelig og uden mening. Og det er vores og dyrenes evne til at se, at noget mangler eller er skjult (lagdelingen er den samme på begge sider af en dal; altså er dalen udtryk for at der mangler noget. Eller et byttedyr "forsvinder" bag en busk; rovdycet forstår, at byttedyret er løbet bag om busken, og vender ikke slukøret om).

Denne vigtige, helt basale del af semiotikken er ikke medtaget – dvs. kronologierkendelse, genkendelse og erkendelse af, at noget mangler eller er gemt – for ikke at tale om, at noget kan glemmes. Det samme gælder diskussionen af, hvordan det frie rum for valg, overhovedet kan opstå. En diskussion, som blandt andet førtes mellem Bohr og Einstein ("Gud leger ikke med terninger"), og som har stået på lige siden Antikken (for eksempel Demokrit, Epikur, Lucretius), og som endnu ikke har

forklaret, hvorfor eksempelvis radioaktive isotoper henfalder spontant, eller hvorfor skred ikke kan forudsiges specifikt i (alt for tidligt afdøde) professor i fysik Per Baks sandbunke. Og af samme årsag, at statistisk beskrivbare tendenser ikke kan forudsiges specifikt indenfor for eksempel meteorologi, klimaforskning, jordskælvs-, lavine- og tsunamiforudsigelse og så anderledes forhold som pengevæsen, hvor Baks teorier har fundet stor udbredelse.

Kort sagt, hvorfor forekommer specifikt uforudsigelige hændelser, når de trods alt kan beskrives statistisk helt præcist? Biosemiotikkens og Hoffmeyers som-om-verdens forestillingsevne og valg forudsætter, at der er mere end én mulighed at vælge. Den nød har ingen endnu knækket, selv om de fleste af os vel som Hoffmeyer tror, at den frie viljes eksistens er en realitet, at begrebet ansvar giver mening, og at ikke alt er genernes og "samfundets skyld".

En vigtig bog

Jeg synes, det er en velskrevet og vigtig bog, der viser, at vore forklaringer ikke har brug for de nyreligiøse forestillinger om mystik, mindfulness, spiritualitet, krystalkraft og lignende. Semiotikken er en righoldig videnskabelig fond, der letter forståelsen af især den biologiske verdens uhyre kompleksitet. En kompleksitet, som de deterministiske discipliner som mekanikken, genetikken og molekylærbiologien ikke magter at forklare uden at drive sig selv *ad absurdum*. ■

SERVICE

FAKTA

Peter Gravesen,
Merete Binderup,
Michael Hou-
mark-Møller og



Johannes
Krüger:
Geologisk
set –
Sjælland
og øerne.
GO For-
lag 2017.
334 sider,
290,- kr.

Geologisk set – Sjælland og øerne

Denne bog er det sidste bind i en serie af seks bøger om Danmarks geologi. Bogen behandler naturens og landskabets udvikling igennem de seneste 70 millioner år og gennemgår 42 lokaliteter, der har national, regional og, i enkelte tilfælde, international betydning. Under hvert kapitel findes en beskrivelse af lokalitetens værdi for forskning, undervisning, turisme og samfundstekniske undersøgelser. Bogen giver mulighed for at opleve, studere og forstå geologiske processer, materialer og naturområder og forhåbentlig også opleve skønhedsværdien i landskabernes og lokaliteternes former.

FAKTA

Carl Henrik Koch:
Pascal. Matematik og
mirak-
ler.
Lind-
hardt &
Ringhof
2017.
400
sider,
399,- kr.



Pascal. Matematik og mirakler

Franskmænd Blaise Pascal (1623-1662) var en af idehistoriens mest bemærkelsesværdige hjerner. Blandt hans meritter er vigtige bidrag til matematikken indenfor geometrien, og han opfandt regnemaskinen og sandsynlighedsregningen, ligesom han opdagede eksistensen af vakuum. I denne bog udfolder Carl Henrik Koch hele historien om Pascal, der er enestående på alle måder. Han døde ung, men i hans korte liv levede han nærmest som munk og var på en gang en skarp videnskabelig hjerne kombineret med en stærk tro.

FAKTA

Mogens Niss og
Uffe Thomas
Jankvist (red):
Læringsvanske-



ligheder i
matematik
– hvordan
kan de
forstås og
afhjælpes.
Fryden-
lund 2017.
160 sider,
249,- kr.

Læringsvanskeligheder i matematik

Hvad gør man, når man møder elever med læringsvanskeligheder i matematik? Mogens Niss og Uffe Thomas Jankvist har samlet en række cases fra deres studerende på matematikvejlederruddannelsen med konkrete forslag til, hvordan man kan hjælpe eleverne, så de ikke giver op.

Bogen er andet bind i en serie, der formidler erfaringerne fra matematikvejlederruddannelsen og fra den efterfølgende praksis. Første bind: *Fra snublesten til byggesten* udkom i 2016.

FAKTA

Theis Bendixen:
Rejsen ud af kanin-
ens pels.
Gyldendal
2017.
320 sider,
299,95 kr.



Rejsen ud af kaninens pels

Titlen på denne bog er inspireret af den norske forfatter Jostein Garders populære filosofiroman fra 1991, *Sofies Verden*, hvor han bruger et billede med mennesker, der lever i en kanins pels som billede på, hvordan menneskets nysgerrighed på tilværelsens dybe spørgsmål ændrer sig med alderen. Rejsen ud af kaninens pels er en fortælling om overtro, videnskab og den virkelige verdens vidunderligheder skrevet af Theiss Bendixen, der er kandidatstuderende i psykologi og tilknyttet forskningsenheden *Religion, Cognition and Culture* ved Aarhus Universitet.

Tilbud til dit gymnasium

Vælg imellem tre pakkestørrelser:

Gymnasieabonnement:

Antal blade i pakken:	10	20	40	60	eksemplarer
Pris eksklusiv moms:	450	475	725	975	kr.

(omfatter 6 numre/udgivelser pr. år.)

Den lave pris er mulig i en periode* som led et projekt, som VILLUM FONDEN støtter.

Nye undervisningsmaterialer

På hjemmesiden aktuelnaturvidenskab.dk finder du også undervisningsmaterialer.

Undervisningsforløb om exoplaneter

På Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside kan du nu finde et omfattende undervisningsforløb om exoplaneter, som kan bruges på alle niveauer i gymnasieundervisningen. Materialet, som er udarbejdet af Zelinda Arnborg Videsen, Bjarne Christian Grøn og Martin Holm Erichsen, Viborg Katedralskole, tager udgangspunkt i artiklen *Er der liv derude* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 6/2012.

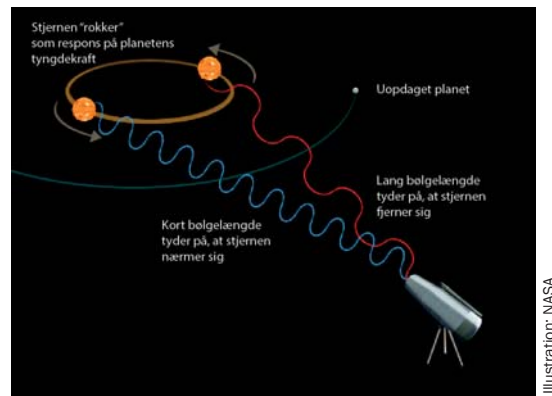


Illustration: NASA

Det omfatter arbejdsark til selve artiklen og til delemnerne "radial-hastighedsmetoden", "transitmetoden" og "den beboelige zone". Derudover er der forløbsbeskrivelse, vejledning til fremlæggelse og skriftligt produkt, regneark med data fra Kepler-satelliten og linksamling. Selvfølgelig er der også en quiz til at runde det hele af med.

Materialet og quiz-app er lavet som led i projektet Aktuel Naturvidenskab i gymnasiet finansieret af VILLUM FONDEN.

OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

Styregruppe

- Birgitte Lyhne, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Jens D. Holbech, chefkonsulent, Science and Technology, Aarhus Universitet
- Mads Bendix Fjendsbo, rektor, Viborg Gymnasium og HF
- Mette Christina Møller Andersen, specialkonsulent, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Niels Kring, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Sanne Holm Nielsen, kommunikationsmedarbejder, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg 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: 6.600



Redaktionsgruppe

- Birgitte Dalgaard, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Birgitte Svennevig, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Carsten Rabæk Kjaer, Aktuel Naturvidenskab
- Jørgen Dahlgaard, Aktuel Naturvidenskab
- Lene Pedersen, Roskilde Universitet
- Peter Arnborg Videsen, Viborg Gymnasium og HF
- Sanne Holm Nielsen, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- Svend Thaning, Københavns Universitet

Redaktionen: Tlf.: 87 15 20 94
E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk
Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk
Facebook: [aktuelnaturvidenskab](https://www.facebook.com/aktuelnaturvidenskab)
Postadresse: Aktuel Naturvidenskab,
Ny Munkegade 120, Bygning 1520, 8000 Aarhus C

Omslagsfoto:
Ældre kvinde.
Foto: Shutterstock.

ABONNEMENTS-SERVICE

Har du fået ny adresse eller ønsker du at bestille et gaveabonnement 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.

Tilbud:

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

Hun trækker i trådene

Af Birgitte Svennevig, SDU, birs@sdu.dk

Det er altid lidt af en prøvelse at studere meget små ting i laboratoriet – og når man ikke har noget apparat, der passer til ens studier af edderkoppespind, må man som forsker selv opfinde og designe det nødvendige udstyr. Det ved Irina Iachina alt om. Hun er specialestuderende og forsker i edderkoppespind på SDU.

Edderkopper af familien hjulspindere spinder noget af den stærkeste silke i dyreriget. Det er næsten lige så stærkt som stål og kevlar, og forskere drømmer om en dag at kunne genskabe silken syntetisk og lave superstærke, elastiske letvægtsmaterialer, som kan produceres med kun meget lidt energi. Tænk skudsikre veste. Tænk vindmøllevinger. Tænk reb, der aldrig knækker.

Den store udfordring er at finde ud af, hvorfor edderkoppesilke er så stærkt, og derfor har Irina installeret to hjulspindere på Institut for Biokemi og Molekylær Biologi på SDU. De skal producere spind til hendes undersøgelser, som foregår under forskningsleder Jonathan Brewers vejledning.

Lige lovlig old school

Indtil nu har Irina og Jonathan arbejdet med et apparat, som de har lånt af gode kolleger i Tyskland. Det er oprindeligt udviklet til at undersøge styrken af muskelfibre, mens prøven samtidig er monteret på et optisk mikroskop. Apparatet har snart 20 år på bagen, og nogle ville måske ligefrem kalde det old school. Det er lavet af messing, og en sindrig mekanisme sørger for, at man kan spænde et lille stykke muskelfiber fast i hver sin ende, så fiberen er i spænd hen over mikroskopets objektiv. Derefter lader man en lille motor trække i det, mens kraften bliver målt. Princippet er det samme, som når man tager et stykke tråd



Irina med en af hendes hjulspindere. Foto: Anders Boe

og trækker i hver ende af det. Hvor langt kan man strække det, inden det brister?

»Muskelfibre og edderkoppespind er naturligvis ikke det samme, men når det gælder om at måle deres styrke, er der visse ligheder, og derfor har vi været glade for at låne deres apparat,« siger Irina.

Det bedagede, tyske apparat er imidlertid ikke konstrueret til at kunne trække et stykke spindtråd langt nok. Og så er det ikke helt stabilt.

»Det duer ikke, at jeg er begrænset i hvor langt jeg kan trække spindtråden. En spindtråd, der bare bliver længere, men ikke brister, fordi der ikke er plads til at trække mere, kan vi ikke bruge til noget. Jeg er jo interesseret i hvor langt, vi kan trække!«.

Så laver vi da bare en selv!

Jonathan Brewer har gennem hele sin karriere arbejdet med avanceret mikroskopi, og han har ofte været nødt til selv at bygge de mikroskoper, han skal bruge – simpelthen

fordi de ikke kan købes. For ham var det derfor oplagt at få bygget en helt ny, specialdesignet edderkoppespindstyrkemåler til Irinas undersøgelser.

Maskinarbejder Torben Christiansen og elektroniktekniker Danny Kyrping fra SDU's værksteder blev taget med på råd, og resultatet er nu et helt nyt apparat, hvor Irina har god plads til at trække i sine spindtråde. Trækket sker i en rolig, stabil og glidende bevægelse, som styres med museklik på en computer. Udover de rent mekaniske udfordringer har det også været nødvendigt at udvikle ny software og computerprogrammer, så både kraftmåleren og trækmaskinen kan styres fra en computer.

Irina er begejstret for det nye apparat, som nu passer rigtig godt til at undersøge netop spindelvæv: »Vi har optimeret måden, hvorpå vi monterer prøven, så det nu er meget nemmere og hurtigere. Det nye apparat kan trække tre gange længere end det gamle og måle endnu større kræfter, og det er nu muligt at få hele prøven i fokus på én gang.« ■