



NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL
*natur*VIDENSKAB

**HVOR STÆRK ER
CHILI?**

3D-SYN afslører knoglernes indre
Bakteriernes USYNLIGHEDSKAPPE skal trævles op
NÅR FORMIDLING driver forskningen

NR.1 - 2017 MARTS : 50 KR.

Når formidling driver forskningen

**Forskningsformidling er, når man først forsker, så formidler, vil de fleste mene.
Men nogle gange kommer inspirationen til forskningen fra formidling.**

Med universitetsloven af 2003 blev der stillet krav om, at forskerne ved siden af forskning og undervisning også skulle formidle deres forskning ved såkaldt viden-delning eller forskningsbaseret formidling. De universitetsansatte modtog dette krav med meget blandede reaktioner. Men i den forløbne tid er det blevet mere sjældent at møde forskere, som påstår, at formidling kun er spild af tid og skadeligt for karrieren. Nærværende tidsskrift er en fornem repræsentant for, hvordan formidling af naturvidenskabelig forskning kan foregå, når det sker i tæt samarbejde mellem forskerne og en professionel redaktion med faglig indsigt og forståelse.

Jeg har selv opfattet formidling som en naturlig del af mit arbejde som forsker også lang tid før, der blev stillet krav om det. Og jeg har altid synes, at det ud over at være en vigtig samfundsforpligtelse var meningsfuldt, gav mig glæde og i høj grad var med til at perspektivere min forskning. Snarere end at tage tid og energi fra det egentlige forskningsarbejde, har formidlingsopgaverne været med til at give energi og inspiration til at dyrke nye fagområder op.

Inspiration fra formidling

Jeg har i de senere år gentagne gange bemærket, at mit engagement i alskens formidlingsaktiviteter flere gange har ført mig til at tage nye forskningsspørgsmål og endda nye forskningsområder op. Mekanismen er velkendt fra undervisningen, hvor det ofte viser sig, at undervisning på elementære førsteårskurser på universitetet nogle gange sætter én i forbindelse med fagets grundlæg-

gende principper på en måde, som man ikke normalt får gennem avanceret forskning. Det kan være et "dumt" spørgsmål fra en studerende eller en udfordring med at lave en eksamensopgave.

Når formidlingen kommer først

Det blev klart for mig for nogle år siden, at den almindelige interesse for mad, smag og sundhed var en ideel ramme til at formidle vores forskning inden for fysik og kemi. Min interesse for videnskaben bag maden og smagen fik mig til at tage nye fagområder op, som alle startede med formidling og syntese af andres viden, men efterhånden udviklede sig til originale forskningsprojekter, som førte til resultater, der kunne publiceres i videnskabelige tidsskrifter, men også i *Aktuel Naturvidenskab*. Det gælder fx makroalger som føde, umami-smagen og som beskrevet i en artikel i dette nummer styrken af chilier. Arbejdet med chilier startede faktisk som et studenter- og gymnasieprojekt inspireret af vores interesse for smag.



Ole G. Mouritsen er professor i fysik og centerleder ved Smag for Livet
ogm@memphys.sdu.dk

Smag som drivkraft for nyt forskningsområde

I 2012 igangsatte vi et stort nationalt forsknings- og formidlingscenter *Smag for Livet*, der som hovedopgave netop har formidling af viden om smag til børn og unge. Formidlingsarbejdet med smag har ført os til at definere et muligt nyt videnskabsområde, gastrofysik, og vi udfører nu formidlingsdrevet forskning inden for dette center. Vi har faktisk publiceret resultater af arbejde med visualisering af fødevarer i *Aktuel Naturvidenskab* før det kommer til at optræde i et videnskabeligt tidsskrift. Det er interessant at bemærke, at populariseringen af dette arbejde har ført til mange interessetilkendelser fra virksomheder. Et andet eksempel er arbejdet med at forstå den fysiske kemi bag det at lave sprøde grøntsager, som er stimuleret af samarbejde med kokke inden for Smag for Livet. Projektet har været brugt som gymnasieprojekt, og snart vil det optræde i en populærvidenskabelig bog, før det når de sædvanlige videnskabelige publikationskanaler.

Mange forskere er måske opdraget til at tro, at det populært sagt er "forbudt" at formidle originale resultater, før man publicerer dem i videnskabelige tidsskrifter. Men det behøver altså ikke være diskvalificerende – selvom det selvfølgelig er en strategi, der skal vælges med omhu. ■

Læs mere: Artikler i *Aktuel Naturvidenskab*: *Tang i menneskets tjeneste* (6/2009). *Velsmag – sådan virker det* (4/2012). *Hvor stærk er chili?* (1/2017) samt *Se ind i maden* (6/2015) www.smagforlivet.dk.

SPONSORABONNENTER

GRUNDFOS 


novo nordisk®

novozymes 
Rethink Tomorrow

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

Styregruppe

- **Mette Christina Møller Andersen**, specialkonsulent, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Thomas Johansen**, konstitueret 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
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Sanne Holm Nielsen**, kommunikationsmedarbejder, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet

Redaktionsgruppe

- **Birgitte Dalgaard**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Peter Arnborg Videsen**, Viborg Gymnasium og HF
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Niels Hansen**, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Carsten Rabæk Kjaer**, Aktuel Naturvidenskab
- **Carsten Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Lene Pedersen**, Roskilde Universitet
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Svend Thaning**, Københavns Universitet

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

Ansvarshavende

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

Redaktion

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

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Postadresse: Aktuel Naturvidenskab,
Ny Munkegade 120, Bygn. 1520, 8000 Århus C

Abonnementspris 2017

294 kr. i DK for 6 numre, inkl. moms og porto.

Abonnementservice:

Telefonnr.: 70 25 55 12

e-post: aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Layout og illustration: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S

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

Oplag: 7.000

Omslag:

Chilifrugter på plante i drivhus.

Foto: Gartneri Toftegaard



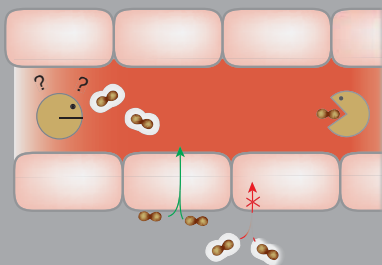
Vi siger, at chili smager stærkt. Men er stærk en smag, og hvor stærk er chili egentlig? En ny undersøgelse af de stærke indholdsstoffer i chili, de såkaldte capsaicinoider, viser, at chilier dyrket i Danmark kan blive lige så stærke som chilier dyrket under varmere himmelstrøg.

8



Knogler er opbygget i en kompleks struktur, som forskerne stadig ikke forstår vigtige dele af.

14



En ny forskningsgruppe ved Mikrobiologi på Syddansk Universitet har sat sig for at undersøge genetikken bag bakterien *Streptococcus pneumoniae* kapsel – den bakterielle usynlighedskappe. Finder vi ud af, hvordan den reguleres, er der potentiale for nye behandlingsmetoder.

26



En gruppe studerende fra Syddansk Universitet oplevede i efteråret 2016 succes i en international konkurrence i syntetisk biologi. Deres projekt går ud på at udnytte bakterier til at fremstille et anti-infektiøst plaster.

34

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 Kort Nyt
- 8 Hvor stærk er chili?
- 14 3D-Røntgensyn afslører knoglernes indre
- 19 Ung ø med ældgammel undergrund
- 20 Zebrafiskens immunsystem på film
- 23 Kæmpeplanet får sin stjerne til at svinge i takt
- 24 Metallisk hydrogen – en and?
- 26 Bakteriernes usynlighedskappe skal trævles op
- 33 Forskere vækker silicium til live
- 34 Når bakterier bliver til plaster

PERSPEKTIV - DEBAT

- 2 Synspunkt: Når formidling driver forskningen
- 30 Stor interesse for bedre naturgenopretning
- 40 Erkendelse ved hjælp af hierarkiske modeller
- 38 Bøger
- 44 BAGSIDEN: Udlængsel og CV

Billigt rent vand med online-analyse



Foto: colourbox

Værktøjet til at styre mængden og sammensætningen af mikroorganismer skal udvikles i form af et DNA-baseret onlinesystem til monitorering af mikrobiologien i de miljøteknologiske anlæg. Systemet er udset til at blive en hurtig, billig og pålidelig metode til at identificere de forskellige mikrober og deres betydning

Projektet kan skabe et gennembrud i styring og kontrol af tusindvis af bakteriearter ved at kombinere overvågning med nye DNA-teknologier, avanceret datahåndtering og en integreret online-kontrolplatform. Ifølge Per Halkjær Nielsen udvikler de nye DNA-teknologier sig i øjeblikket med rekordfart:

»Vi kan nu overvåge mikrobielle samfund på en måde, vi kun kunne drømme om for et par år siden. Projektet vil bringe de nye metoder helt ud til brugerne, vandselskaberne i Danmark og på sigt også internationale virksomheder og vandselskaber og udvikle dem, så de kan benyttes til kontrol og styring. Det vil være en revolution for driften af anlæggene.«

Sanne Holm Nielsen, Aalborg Universitet

Bakterier er vigtige hjælpere, når spildevand skal renses for organisk stof, kvælstof og fosfor. I landets cirka 680 renseanlæg, som benytter biologisk rensning, er bakterierne og sammensætningen af dem altafgørende for kvaliteten af det rensede vand, produktion af bioenergi og genbrug af ressourcer.

I dag ved man ikke ret meget om, hvilke bakterier der renses vandet bedst, og heller ikke hvordan man kan optimere dem. Derfor vil projektet OnlineDNA nu kortlægge de flere tusinde

forskellige arter af bakterier, der holder til i renseanlæg. Heraf er 100 til 200 særligt vigtige, fordi de hjælper med at rense spildevandet.

»Når vi kan måle fra dag til dag eller fra time til time, at der begynder at komme de rigtige eller de forkerte bakterier, kan vi reagere på det. Fx kan nogle bakterier danne lange tråde, som gør det svært at adskille slam fra vandet, så slammet løber med det rensede vand ud af anlægget,« siger lederen af projektet, professor Per Halkjær Nielsen fra Aalborg Universitet.

Robotfryser skal holde styr på vores gener

Blodprøver, der bliver væk eller må tages om, fordi blodet ikke har været opbevaret under den rigtige temperatur. Problemer med at finde prøven i fryseren og en fryser, som konstant iser til. Problemerne er mange på hospitalets laboratorier, men et nyt robotsystem skal nu få styr på det.

Lektor Ulrik Pagh Schultz fra SDU Software Engineering står sammen med sin kollega, lektor Marco Kuhrmann, bag projektet: *Fremtidens Fryserenhed*, som har modtaget 16 millioner kroner fra Innovationsfonden. Sammen med partnere fra DTU, KU, Dublin City University samt virksomhederne Gram Bioline og FFU APS skal de til at udvikle en fuldautomatisk robotfryser, som kan holde styr på det hastigt voksende antal prøver.

Personlig medicin bliver allerede anvendt inden for enkelte områder, men i fremtiden vil patienter få en medicin, som tager udgangs-

punkt i den enkeltes unikke genprofil. Det betyder, at vi alle på sigt vil have biologisk materiale liggende på hospitalet, som læger kan analysere, hvis vi bliver syge.

»Når der bliver samlet og opbevaret flere biologiske prøver, stiger behovet for at have styr på dem, og ikke mindst have kontrol med, hvem der benytter prøverne. Først og fremmest skal prøverne opbevares under den helt rigtige temperatur, men det er vigtigt for patientsikkerheden, at prøverne ikke ved et uheld bliver forbyttet,« siger Ulrik Pagh Schultz

Systemet højner patientsikkerheden, fordi der sættes en lille chip i prøven, hvor det blandt andet kodes ind, hvilke medarbejdere prøven kan udleveres til. Samtidig lagrer fryserens computersystem alle data omkring de forskellige prøver på en ensartet måde.

»Systemet kan derfor bidrage til begrebet

”big data”, hvor computersystemer automatisk opdager nye mønstre i udvikling af sygdomme fx ved at opdage en kobling mellem bestemte gener og bestemte sygdomme,« påpeger Ulrik Pagh Schultz.

På mange hospitaler bliver patienternes biologiske materialer opbevaret i store centrale frysesystemer, men rundt om på laboratorier og klinikker, er det små fryserne, som prøverne opbevares i.

»Det har været vigtigt for os, at vores intelligente frysesystem er så kompakt, at det kan stå i et almindeligt laboratorium. Fysisk minder det om en forstørret version af fryseren, man har stående derhjemme, men man kan ikke bare åbne fryseren. Den skal betjenes via displayet på skærmen og finder selv den prøve frem, som lægen eller forskeren ønsker,« siger Ulrik Pagh Schultz.

Birgitte Dalgaard, Syddansk Universitet Tek

Når mennesket tåler arsen

Foto: Shutterstock

Vandet i Camarones-dalen i Chiles Atacama-ørken har et naturligt højt indhold af det giftige grundstof arsen, fordi arsen fra bjergarterne i områder siver ud i de sparsomme vandressourcer. Det betyder, at befolkningen i dette område udsættes for niveauer af arsen i drikkevandet, der er 100 gange højere end grænseværdien på 10 mikrogram pr. liter, fastsat af verdenssundhedsorganisationen WHO. Men det har den lokale befolkning tilsyneladende tilpasset sig, viser ny forskning. Mauricio Moraga fra University of

Chile i Santiago og kolleger sammenlignede DNA fra 50 personer fra denne region med 92 individer fra andre områder i Chile, hvor det naturlige niveau af arsen er mindre. De identificerede mutationer i genet AS3MT, der koder for enzymet arsen methyltransferase, som omsætter arsenforbindelser i kroppen. De fandt, at næsten 70 % af de undersøgte personer fra Camarones-dalen bar den variant af enzymet, som mest effektivt omsætter arsen og derfor giver den bedste beskyttelse. Det var en væsentlig højere andel end fra de andre områder.

Camarones-dalen har naturligt det højeste indhold af arsen i vandet målt på de amerikanske kontinenter.

Forskerne tolker den høje frekvens af den effektive variant af enzymet, der omsætter arsen, som et resultat af naturlig selektion og dermed en tilpasning til det giftige miljø, som mange generationer af mennesker har levet i. Den oprindelige befolkning i området kan spores 7000 år tilbage i tiden.

CRK, Kilde: *Am. J. Phys. Anthropol.*
<http://doi.org/bz4s> (2017)

En orden til et eksotisk insekt

Umiddelbart ligner det lille væsen fanget i et stykke rav bare en myre. Men ifølge forskere fra Oregon State University er det lille kræ så usædvanligt, at det må placeres i sin helt egen orden i dyreriget. I klassificeringen af alverdens nulevende såvel som uddøde organismer er en orden et meget overordnet niveau, der rangerer over art, slægt og familie. Således klassificeres de mere end 1 million beskrevne arter af insekter i kun 31 forskellige ordner. Men nu er så endnu en orden føjet til.

Ifølge forskerne bag den videnskabelige artikel i tidsskriftet *Cretaceous Research*, hvori den nye insektorden beskrives, har det lille insekt en række unikke træk, der ikke ses i andre insekter. Det mest usædvanlige er angiveligt dens hoved med udbulende øjne,



Det usædvanlige insekt, der har fået det videnskabelige navn *Aethiocarenum burmanicus*.

hvor hovedet har form som en ligebenet trekant. Insekter med trekantede hoveder er almindelige i dag, men der kendes ikke andre eksempler, hvor orienteringen er sådan, at toppunktet i trekanten er lokaliseret ved halsen. I alle andre kendte arter med trekantede hoveder er det trekantens grundlinje, der udgør basis af hovedet.

Der kendes kun to eksemplarer af denne nye art, som nu har fået deres helt egen orden. Begge er fundet i Myanmar, hvor de for omkring 100 millioner år siden i kridttiden blev fanget i en klump harpiks, der har bevaret dem for eftertiden til forskernes store begejstring.

CRK, Kilde: *G. Poinar Jr., A.E. Brown / Cretaceous Research* 72 (2017) 100e104

Foto: Oregon State Univ.

Ny app vender kameraet om

Vi lever i en selvfed tid, hvor mange unges blik og kamera er rettet mod dem selv, hvad enten det er hjemme på værelset eller med Mount Everest som kulisse. Det hører med til nutidens reality-drømme at tage selfies. En pendant til den gamle 60'er-popkunstner Andy Warhols udsagn om, "at vi alle vil få 15 minutters berømmelse i vores liv". Men drømmer man om at blive forsker eller bare blive lidt dygtigere i skolen, så skal blikket rettes mod omverdenen. Og med en ny app "BESKRIV VERDEN", som Statens Naturhistoriske Museum, SNM, på Københavns Universitet har udviklet, får de unge en chance for at systematisere og analysere deres omverden.

Formidlingschef Pernille Hjort på SNM siger om den nye app: »Med BESKRIV VERDEN-appen har vi udviklet et værktøj, der kan træne elevernes opmærksomhed og systematisere deres observationer og beskrivelser af en genstand. Det kan fx være en sten, en fugl eller et helt landskab. Så



Sådan kan app'en BESKRIV VERDEN eksempelvis bruges – til beskrivelse af flint. Foto: Katrine Vibeke Minddal.

selvom appen umiddelbart virker banal – et kamera, hvor man kan lægge informationslag ovenpå et billede af en genstand –

så er funktionerne i appen nøje udvalgte, så de kan træne elevernes videnskabelige blik på verden. Det handler om at få eleverne til at trække data ud af virkeligheden – på en struktureret måde – så de via deres beskrivelser i appen kan finde mønstre i virkelighedens mangfoldighed,« understreger Pernille Hjort.

Forskere har i århundreder brugt notesbøger i deres arbejde med at beskrive verden, og BESKRIV VERDEN-appen kan på mange måder forklares som en moderne notesbog. Det er et redskab, som eleverne kan bruge til at fastholde deres observationer af verden, og så gør appen det samtidig utroligt let for eleverne at dele deres billeder og beskrivelser med klassekammeraterne, læreren eller resten af verden.

Den nye app kan hentes gratis i APP-store til iPhone, og kommer også snart i en Android-version.

Svend Thaning, *Science Kommunikation*

Fra legetøj til centrifuge

Et stykke snoet fiskesnøre, der går igennem to tætsiddende huller i et rundt stykke karton: Det er alt, der skal til for at lave en centrifuge, der i omdrejningshastighed kan matche laboratorieudstyr til mange tusinde kroner. Det viser en nylig afhandling i *Nature Biomedical Engineering*, hvor bioingeniører fra Stanford University demonstrerer et "proof of concept" på en meget simpel og billig centrifuge, der fx vil kunne bruges til at skille malariaparasitter fra blodceller i afsides beliggende egne, hvor man ikke lige kan smutte hen på et laboratorium og få ordnet sagen. Forskernes centrifuge er inspireret af et meget enkelt stykke legetøj, som mange sikkert selv har prøvet at lave i børnehaven ved hjælp af noget snor og en knap. Når tråden stikkes gennem to af hullerne og derefter snos kraftigt, kan man efterfølgende få knappen til at snurre hurtigt rundt ved at trække rytmisk i enderne af tråden.



Manu Prakash fra Stanford University demonstrerer papircentrifugen, som han har udviklet sammen med sine kolleger.

Foto: Kurt Hickman/Stanford University

Ud fra en nærmere matematisk analyse af, hvad der foregår i dette simple legetøj, kunne forskernes konstruere en papircentrifuge, der kan rotere med en hastighed af 125 000

omdrejninger pr. minut. Det er så hurtigt, at en blodprøve, som er fastgjort til centrifugen i et tyndt rør, kan adskilles i blodets individuelle komponenter i løbet af kun halvandet minut. En centrifuge er afgørende for at kunne stille præcise diagnoser af fx malaria, sovesyge, HIV og tuberkulose – sygdomme, som er udbredte i fattige dele af verden, hvor adgangen til sådant billigt udstyr derfor kan være forskellen på liv eller død.

Ifølge forskernes bedste overbevisning har de med deres centrifuge opnået den største rotationshastighed nogensinde for en anordning drevet alene ved almindelig menneskelig muskelkraft. For også at få den ære med i købet har de indsendt en ansøgning om at få rekorden registreret i *Guinness World Records*.

CRK, Kilde: *Nature Biomedical Engineering* 1/2017

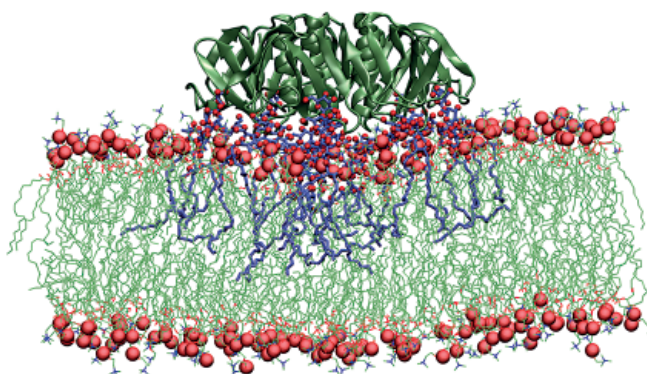
Sådan angriber diarre-bakterier

Shigellose er en mave-tarminfektion, der kan give blodig diarre. Den smitter især via vand og mad i områder, hvor hygiejnen ikke er i top, og hvor de ansvarlige bakterier – shigella – har gode vækstforhold.

Nu har forskere fra bl.a. SDU fundet ud af, hvordan shigella kan komme fra en kop inficeret vand ind i menneskekroppen og gøre os syge.

»Bakterien skal ind i vores celler for at kunne gøre skade. Normalt er vores celler ekstremt effektive til at holde fremmedelementer ude, men mange bakterier og virus har specialiseret sig i at snige sig gennem membranen og ind i selve cellen uden at blive opdaget af cellens forsvarssystem,« siger lektor John Hjort Ipsen, Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, SDU.

I tidsskriftet *ACS Nano* beretter han og kolleger fra bl.a. Institut Curie i Frankrig og Ecole polytechnique fédérale de Lausanne i Schweiz nu, at det er lykkedes at identificere en vej ind,



Figuren viser det første skridt i et shiga-toxins vej ind i cellen, hvor shiga-partiklen (de grønne, snoede bånd) er bundet til cellemembranen. Bakterien har på snedig vis fundet en receptor for sit toxin i et specifikt lipid i membranen kaldet Gb3 (de blå tråde), som er nødvendigt for cellens funktioner. Optagelsen af shiga-toxin sker helt uden deltagelse af energiforbrugende enzymer og går dermed uden om de sædvanlige kanaler for optagelse af materiale i cellen.

som benyttes af bl.a. shigella-bakterier.

Shigella producerer et giftigt protein, der hedder Shiga. Shiga-partikler hæfter sig på visse fedtstoffer, der sidder på membranen af den celle, som den angriber. På membranen begynder shiga-partiklerne at forme klynger, som får membranen til at bukke indad, så der dannes rørformede indkrængninger, som shiga-partiklerne kan bruge som indfaldsveje til cellens indre.

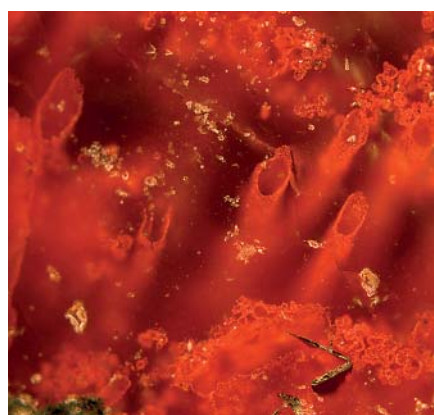
Når de er kommet ind, begynder shiga-partiklerne at modificere cellens genetiske mekanisme, og infektionen er i gang.

»Nu hvor vi kender den vej, som shigella kommer ind ad, kan man overveje, om man kan sende andet end skadelige bakterier ad samme vej – det kunne fx være medicinske stoffer,« siger John Hjort Ipsen.

Birgitte Svennevig, SDU

Mikrofossiler peger på varm vugge for livet

Præcis hvornår i Jordens barndom opstod livet? Og i hvilket miljø? Det er spørgsmål, som videnskaben meget gerne vil besvare, men som i sagens natur er en kæmpe udfordring. I en nylig afhandling i *Nature*, argumenterer Matthew Dodd fra University College i London og kolleger for, at mikrometer-store strukturer fundet i ældgamle bjergarter i Quebec i Canada er spor efter de ældste mikroorganismer, der hidtil er observeret. Bjergarterne er dateret til, at være mindst 3,770 milliarder år gamle og muligvis helt op til 4,280 milliarder år. Strukturerne består af rør og filamenter af jernoxidet hæmatit. Tilsvarende strukturer dannes ifølge forskerne af bakterier, der i nutiden lever i måtte-lignende kolonier omkring såkaldte hydrotermale væld på havbunden. Det er sprækker i havbunden, hvor skoldhedt vand fyldt med opløste mineraler strømmer ud pga. på grund af vulkanske aktivitet i undergrunden. Disse væld huser i nutiden et



Hæmatit-rør fra mindst 3,77 mia. år gamle bjergarter i Quebec antyder, at der kan have været liv på Jorden allerede på det tidspunkt og måske endnu tidligere. Foto: Matthew Dodd

fascinerende økosystem, der grundlæggende bygger på bakterier, der får deres energi fra processer relateret til det udstømmende, mineralrige vand fremfor fra sollyset. Mange forskere anser derfor hydrotermale væld for

at være et sandsynligt bud på et miljø, hvor det første liv er opstået. De nye resultater kan dermed give ekstra næring til denne teori. Ifølge Dodd og kolleger er de undersøgte bjergarter dannet omkring relativt kolde hydrotermale væld – dvs. med temperaturer under 160 °C.

Udover hæmatitstrukturerne har forskerne også fundet andre indicier på, at liv har været til stede, da de ældgamle bjergarter blev dannet. Materiale tæt på filamenterne indeholder således en fordeling af kulstofisotoper, der er karakteristisk for biologiske processer. Noget af dette kulstof findes endvidere indeni krystaller af fosforrige mineraler. Fosfor er et essentielt grundstof i alt liv, og når organismer dør og nedbrydes kan dette fosfor blive bygget ind i mineraler.

CRK, Kilde: *Nature* 543, 60–64 (02 March 2017) doi:10.1038/nature21377



HVOR STÆRK ER CHILI?

Vi siger, at chili smager stærkt. Men er stærk en smag, og hvor stærk er chili egentlig? En ny undersøgelse af de stærke indholdsstoffer i chili, de såkaldte capsaicinoider, viser, at chilier dyrket i Danmark kan blive lige så stærke som chilier dyrket under varmere himmelstrøg.

Der findes en lang række fødevarer, som vi siger smager stærkt eller brændende. Chili, sort peber og peberrod er nok de mest kendte. Men "stærk" er ikke en rigtig smag i den forstand, at den kan frembringes ved en kombination af de fem accepterede grundsmage: Sur, sød, salt, bitter og umami, som alle fremkommer ved, at stoffer i mad eller drikke finder vej til smagsreceptorerne i tungens smagsløg.

En smagsoplevelse af stærk eller brændende opstår, når visse indholdsstoffer i maden kemisk påvirker særlige somato-sensoriske receptorer i nogle nerveender i slimhinderne i munden og giver anledning til en følelse af smerte. Det er den samme slags nerveender, som også registrerer varme og kulde. I princippet er der tale om et faresignal, som fortæller os, at vi skal passe på og måske overveje at spytte maden ud igen.

Chili er ikke peber

Chili er på verdensplan det næstmest brugte krydderi efter salt, og sort peber er nummer tre. Chili er nok det krydderi og den madvare, som er omgærdet af den stærkeste respekt og forundring, når det drejer sig om stærk og brændende mad.

Chili er ikke rigtig peber, selv om vi på dansk bruger udtryk som chili-peber og peberfrugt. Chili hører til slægten *Capsicum*, som er medlem af natskyggefamilien *Solanaceae*. *Capsicum* kommer af det græske ord for "bid" (*kapto*). *Capsicum*-planterne menes oprindeligt at komme fra Andesbjergenes højland omkring Bolivia og Peru og blev bragt til Europa med Columbus, som kaldte frugten indisk (indiansk) peber eller spansk peber. Fra Europa bragte portugisiske, spanske og baskiske søfarende brugen af chili med sig til Afrika, Mellemøsten og Asien, hvor planten nemt kunne dyrkes. De fleste europæere spiste da overvejende de milde og søde chilier, men de stærkere varianter blev hurtigt værdsat i



I de senere år er chili blevet et modefænomen og danskerne dyrker chili i drivhuse og i køkkenhaver, og chili indgår i eksotiske og traditionelle retter både som ingrediens og krydderi.
Foto: Gartneri Toftegaard

fx Indien. Det siges, at baskerne var de eneste europæere, som fik smag for stærk chili direkte fra Amerika.

Foruden det baskiske køkken er det i Europa især det ungarske køkken, som har taget chili til sig som en nationalspise (under navnet paprika). Ungarerne fik smag for chili i begyndelsen af 1800-tallet, hvor Napoleonskrigene gjorde det umuligt at skaffe sort peber.

Nu er dyrkning af chili blevet almindelig over det meste af verden, også i koldere klimaer. Danskerne dyrker chili i drivhuse og i køkkenhaver, og chili indgår i eksotiske og traditionelle retter både som ingrediens og krydderi. I de senere år er chili oven i købet blevet et modefænomen, og der eksperimenteres med chili i drinks og i konkurrencer om, hvem der kan klare at spise den stærkeste chili.

Capsaicin gør chili stærk

Det, der gør chili stærk, skyldes nogle stoffer, som dannes i plantens frugter som et olieagtigt sekret, der indeholder sekundære metabolitter, de såkaldte capsaici-

noider. Der er otte slags, og det er især fire, som giver styrken: capsaicin, dihydrocapsaicin, nordihydrocapsaicin og homocapsaicin. De to første er cirka lige stærke, hvorimod nordihydrocapsaicin og især homocapsaicin er noget mindre stærke. Et femte stof, homodihydrocapsaicin, som normalt kun findes i meget små mængder og er ca. halvt så stærkt som capsaicin, er især ansvarlig for den langvarende "efter-smerte" i svelget, som forårsages af de stærkeste chilier. Hvor virkningen af almindelig capsaicin fortager sig hurtigt, så kan virkningen af homodihydrocapsaicin holde sig i mange timer.

Capsaicinoiderne er farveløse, og de har i sig selv hverken smag eller lugt. Det betyder dog ikke, at chilifrugter ikke kan have smag; fx har chilier af Habanero-typen en eksotisk frugtsmag.

Da man typisk angiver styrken af en chili som en middelværdi af de indgående capsaicinoider, vil vi i det følgende ikke skelne mellem de forskellige stoffer og blot tale om capsaicin.

Forfatterne



Lars Duelund er cand. scient. og akademisk medarbejder tilknyttet Smag for Livet og MEMPHYS på Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, SDU.
lad@memphys.sdu.dk



Lene Tvedegaard er cand. agro. forfatter og ejer af Gartneri Toftegaard ved Køge, som har speciale i dyrkning af chili, tomater og krydderurter.
gartneri-toftegaard.dk



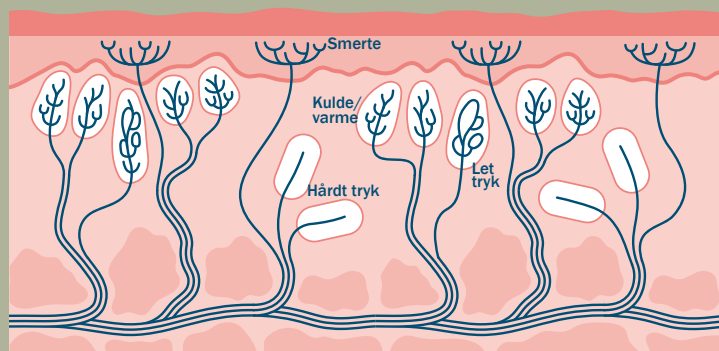
Ole G. Mouritsen er dr. scient. og professor i biofysik ved MEMPHYS på Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, SDU. Han er leder af Norda-fondens center Smag for Livet.
ogm@memphys.sdu.dk

Chili og varme

Vi siger, at chili brænder og gør os varme. Det skyldes, at capsaicin binder til varmekølsomme receptorer i munden og narrer dem til at tro, at det er varmt. De fleste folk kommer derfor også til at svede og blive blussende varme især i ansigtet, selv om kropstemperaturen som sådan ikke stiger. For meget stærke chilier kan folk opleve kvalme, åndenød og ringen for ørerne.

Huden og især slimhinderne i munden har nogle smertefølsomme nerveender. Disse nerveender stimuleres af mekaniske og kemiske påvirkninger eller ekstreme temperaturforhold. Det fører til irritation, smerte og potentiel skadevirkning på celler og væv.

I munden kan disse nerveender påvirkes kemisk af stoffer i maden, og vi kalder derfor dette fænomen for kemestesi. Kemestesi beskriver hudens og slimhindernes følsomhed over for kemiske påvirkninger, der fremkalder irritation og smerte i form af en brændende eller stikkende fornemmelse. Vi oplever denne irritation som en skarp eller brændende smag, når vi spiser chili, der inde-



holder stoffet capsaicin, sort peber, som indeholder stoffet piperin, eller peberrod og sennep, som indeholder stoffet isothiocyanat, der giver en stikkende fornemmelse. Da det er nerveenderne af den trigeminale nerve (den femte kranienerve), som her er i spil, kaldes kemestesi sommetider for den trigeminale sans.

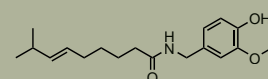
Ved længere påvirkning af disse stoffer får receptorerne nedsat følsomhed, og det fører til den paradoksale effekt, at stofferne nu kan virke som bedøvelsesmidler. Chili blev allerede før Columbus brugt i Mellemamerika til lokalbedøvelse. Det var faktisk i sit arbejde med at undersøge chilis potentiale som smertestillende præparat, at Wilbur Scoville opfandt sin styrkeskala

(SHU) for chilis styrke.

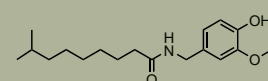
Temperaturer under 15 °C og over 52 °C registreres også som smerte. Det faktum, at det er beslægtede kanaler, som registrerer temperatur og smerte, er årsagen til, at sanserne nogle gange spiller os et puds, og vi fornemmer noget som koldt (mentol, pebermynte og kamfer) eller varmt (piperin og capsaicin), uden at temperaturen er ændret. De smertefølsomme nerveender påvirkes også af elektrisk stimulering, og de kan derudover være pH-følsomme. Den stikkende og sure smagsoplevelse af kulsyreholdige og boblende drikke menes at skyldes en kombination af både pH-sensitive receptorer og somato-sensoriske nerveender.

Styrkeskalaer for chilier

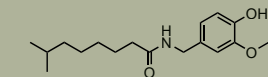
Navn	Nordisk skala	Scoville Heat Units (SHU)
Ren capsaicin	30	16.100.000
↓	↓	↓
Carolina Reaper	14	1.046.000 ±34.000
Trinidad Scorpion Moruga Blend BIH Jolokia (Improved strain)	13	673.000±120.000 665.000±4.000
Bhut Orange Copenhagen (BOC)	12	566.000 ±47.000
Habalokia Yellow	11	375.000 ±11.000
Red Savina Habanero	10	246.000±80.000 247.000±25.000
Fatali	9	176.000±700
Tabasco	8	120.000 ±32.000
Ommicolor	7	62.000 ±13.000
Toftegaards Citronchili	6	51.000±28.000
Jalapenos	5	35.000
Starfish	4	20.000
Toftegaards Hot Banana, Espelette	3	7.000-9.000
Grøn Tapas	2	4.000
Anaheim	1	1.000
Alm. peber, snack peber	0	0



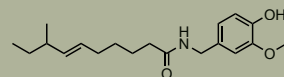
Capsaicin
Styrke: 16.100.000 SHU



Dihydrocapsaicin
Styrke: 16.100.000 SHU



Nordihydrocapsaicin
Styrke: 9.300.000 SHU



Homocapsaicin
Styrke: 6.900.000 SHU

Vores målte værdier for capsaicinindhold omsat til SHU for chilier dyrket i Danmark. Den nordiske skala er stadigvæk et godt subjektivt værktøj til at bestemme en chilis styrke, og tabellen viser sammenhængen med SHU-enheder. Resultater angivet med usikkerheder er målt af forfatterne.

Forskellige arter af chili har forskellig styrke, gående fra de helt søde og milde grønne og røde snack-chilier til de stærkeste, som man skal være Chili Klaus for at ville smage på. De forskellige dele af chili-frugten har forskellig styrke, og i modsætning til, hvad mange tror, er det ikke kernerne, men frøstol og frøvægge, som er de stærkeste.

Hvordan måler man en chilis styrke?

Det spørgsmål stillede farmaceuten Wilbur Scoville (1865-1942) sig, da han under sit arbejde ved en amerikansk lægemiddelvirksomhed i 1912 undersøgte, om ekstrakter af chili kunne bruges ved smertelindring. Hertil opstillede han en speciel styrkeskala, som fik navnet Scoville-skalaen, og som opererer i enheder af Scoville Heat Units (SHU).

Scoville-skalaen bygger på en såkaldt organoleptisk metode, dvs. en sensorisk skala, som er knyttet til personers oplevelse af styrken. Da ikke alle personer har samme følsomhed over for smerte, på samme måde som smagstærsklen for forskellige smage også er individuel, er Scoville-skalaen noget upræcis. Enheden SHU defineres på den måde, at hvis et chilieks-trakt fx har styrken 1000 SHU, så skal det fortyndes 1000 gange for ikke længere at smage stærkt.

Nu ved vi, at det er indholdet af capsaicinoider, der bestemmer en chilis styrke, så et præcist og objektivt defineret mål for styrken kan simpelthen defineres som koncentrationen af capsaicinoider. Denne koncentration kan bestemmes kvantitativt med moderne analytisk-kemiske teknikker, især væskechromatografi, som er en måde at adskille stoffer. Efter denne adskillelse kan man benytte fx massespektrometri til at identificere og kvantificere de forskellige capsaicinoider.

Styrken af de forskellige rene capsaicinoider kan også fastlægges på Scoville-skalaen, og dermed får

man en omregningsfaktor fra de målte capsaicinoidkoncentrationer til SHU. Fx har ren capsaicin styrken 16.100.000 SHU.

Der findes også andre, mere kvalitative skalaer. Fx har man brugt en nordisk skala med styrkeangivelse 0-10, men de senere års fund af stadig stærkere chilier har bevirket, at denne skala er blevet revideret. Verdens stærkeste chilisort, Carolina Reaper, er målt i Danmark til gennemsnitlig 1.000.000 SHU og har fået styrkeangivelse 14. Habanero ligger fx på styrke 10.

Et kapløb mod stærkere chilier

Der findes omkring 25 vilde varianter af *Capsicum* og op mod 4000 forskellige kultiverede underarter, og der dyrkes stadig nye frem med forskellig farve, form, størrelse og styrke. Almindelige typer er Habanero, Serrano, cayenne og jalapeño. De stærkeste arter er af arten *Capsicum chinense*. Udfordringen for dyrkerne er at producere chili-frugter, som er konsistente i deres styrke, og det tager typisk otte år at fremavle en unik chili med stabile arveanlæg for en særlig egenskab.

For 15-20 år siden startede et veritabelt internationalt kapløb for at fremavle den stærkeste chili og få plads i Guinness Book of World Records. Med en styrke på 577.000 SHU havde Red Savina af Habanero-typen rekorden for i 2006 at blive slået af Bhut Jolokia ("ghost pepper") dyrket af en indisk landmand. Bhut Jolokia bonner ud med 1.000.000 SHU. Fire titelskift sker i årene 2010-2011 med chilier fra England og Australien, for at blive sat på plads af Smokin' Ed Curries Carolina Reaper i 2013 med chilier i området 1.500.000-2.000.000 SHU.

Dyrkning af chilier i Danmark

I flere år har vi i Danmark dyrket chilifrugter uden helt at vide, hvor stærke de var. Det blev antaget, at vi i Norden ikke kunne dyrke så stærke frugter som sydpå, hvor der er mere sol og varme. På den



Den voldsomme smerteeffekt af capsaicin udnyttes i bl.a. politiets peberspray, som er lavet af cayennepeber med en styrke på 5.000.000 SHU.

baggrund opstod den nordiske styrkeskala for chili (fra 0-10), som umiddelbart gav et mere enkelt billede af styrken på en skala, der også kunne håndteres af de fleste i en subjektiv bedømmelse.

Men nu har vi endelig nogle videnskabelige data for styrken af chilier dyrket i Danmark. De undersøgte frugter er dyrket på Gartneri Toftegaard i et uopvarmet væksthus, uden kunstig belysning og dyrket i en plantesæk, reelt under samme forhold som ude hos hobbyavleren. Data viser, at sol og varme kun har mindre effekt på styrken, og det vigtigste er modenhedsgraden og arveanlæggene. Det underbygges af undersøgelserne af verdens stærkeste sort Carolina Reaper, som havde næsten samme styrke i 2014 (en meget lun sommer og efterår) og i 2015 (en meget kølrig sommer og efterår). Endvidere var styrken på ca. 1.000.000 SHU, med lille variation for sorten, dvs. overraskende høj. I gennemsnit er sorten målt til 1.500.000 SHU dyrket hos forædleren i USA. Generelt varierer høstede frugter en del i styrke, ja selv mellem frugter høstet på samme plante. Mange sorter er også meget ustabile i styrke pga. genetikken, og udspaltning i frugtens form, farve og styrke er et velkendt fænomen. Variation i

Måling af capsaicinoider i chili

Videre læsning

Beck KP, Bindseil MF, Mikkelsen SE, Andersen ABA, Knudsen S. Bestemmelse af chilistyrke ved måling af capsaicinoidkoncentration. 1.årsprojekt, SDU (2014).

Duelund L, Mouritsen OG. Contents of capsaicinoids in chillies grown in Denmark. Food Chemistry 221, 913-918 (2017).

McQuaid J. Tasty. The Art and Science of What We Eat. Chap. 7. Scribner, New York (2015).

Mouritsen OG, Styrbæk K. Fornemmelse for smag. Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck, København (2015).

Shepherd G. Neurogastro-nomy. Columbia University Press, New York (2011).

Tvedegaard L. Den lille stærke om chili. Koustrup & Co, Farum (2013).

Tvedegaard L. Smagen af chili. Koustrup & Co, Farum (2014).

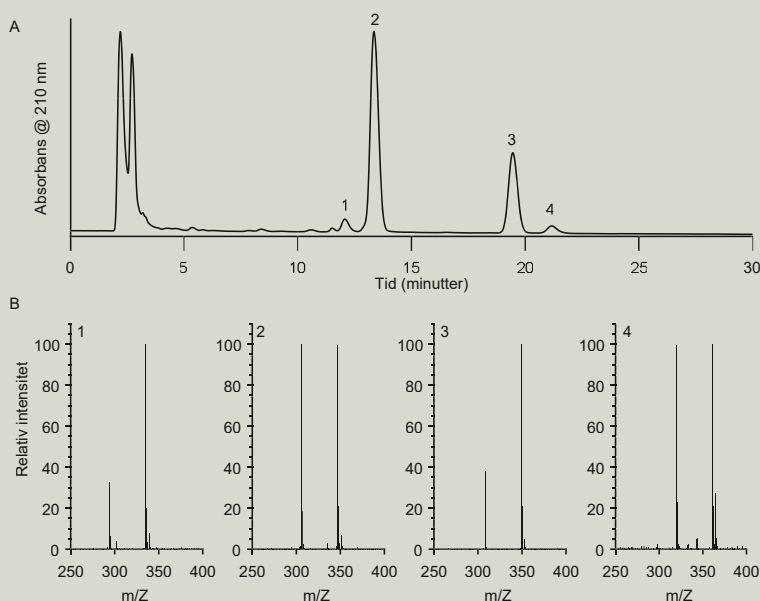
Vildgaard T, Pedersen CT. Krydderier og Kokkerier. Lindhard og Ringhof, København, 2006.

www.gartneri-toftegaard.dk

www.smagforlivet.dk

Mængden af de enkelte capsaicinoider i chilierne blev bestemt vha. en kombination af højtryksvæskerkromatografi (HPLC) og massespektrometri (kendt som LC-MS efter det engelske Liquid chromatography-mass spectrometry). I denne kombinationsteknik separerer man først stofferne med højtryksvæskerkromatografi ved at sende en væskestrøm, hvori prøven er opløst i et passende opløsningsmiddel (her acetonitril) gennem et tyndt rør fyldt med hydrofobe partikler (en søjle). Da de forskellige stoffer binder forskelligt til partiklerne i søjlen, vil de komme ud med væskestrømmen på forskellige tidspunkter. Væskestrømmen ledes derefter ind i et massespektrometer, der kan bruges til at kvantificere og identificere de enkelte stoffer ved at bestemme molmassen af dem.

I vores eksperimenter har vi først ekstraheret capsaicinoiderne fra chilierne med ethanol og derefter separeret dem fra hinanden og fra andre stoffer i prøven ved brug af højtryksvæskerkromatografi. Capsaicinoiderne bliver separeret efter deres polaritet, og ved måling af lysabsorbansen af strømmen af væske ud af søjlen får man et såkaldt kromatogram, som vist i figuren (A). Derefter føres væskestrømmen ind



i et massespektrometer, hvor stofferne tilføres en elektrisk ladning (Z), så de kommer ud af spektrometret efter en tid, der er proportional med m/Z , hvor m er molmassen af det enkelte stof. Målingen resulterer i et spektrum som vist i B med nogle toppe, som entydigt identificerer de enkelte capsaicinoider, idet positionerne af toppene for de enkelte stoffer på forhånd er bestemt ved at køre de rene stoffer gennem spektrometret. Toppenes højde bestemmer mængden af de enkelte stoffer, hvorfra koncentrationen af

capsaicinoiderne i den pågældende chili kan beregnes.

Toppene 1-4 i figur A svarer til henholdsvis nordihydrocapsaicin, capsaicin, dihydrocapsaicin og homocapsaicin. De andre toppe skyldes opløsningsmidlet (acetonitril) og de øvrige stoffer, som er trukket ud af chilien. Hvert stof i massespektrene i figur B har to toppe, fordi capsaicinoiderne kan danne et molekylært kompleks med acetonitril i massespektrometret (komplekset svarer til den høje værdi af m/Z).

styrke er et vilkår for chilidyrkere. Der er dog iagttagelser i praksis, der undrer, fx hvorfor en snackpeber lige pludselig et år bliver stærk, hvor den året efter igen er uden styrke. Vi kender endnu ikke svaret på disse variationer.

Vi har undersøgt en række dansk dyrkede chilier bl.a. fra Gartneri Toftegaard og sammenlignet deres styrke med tilsvarende varianter dyrket under varmere himmelstrøg. Styrken er bestemt ved kvantitativ bestemmelse af indholdet af de fire nævnte capsaicinoider, og vi har der

efter omregnet til Scoville-skalaen.

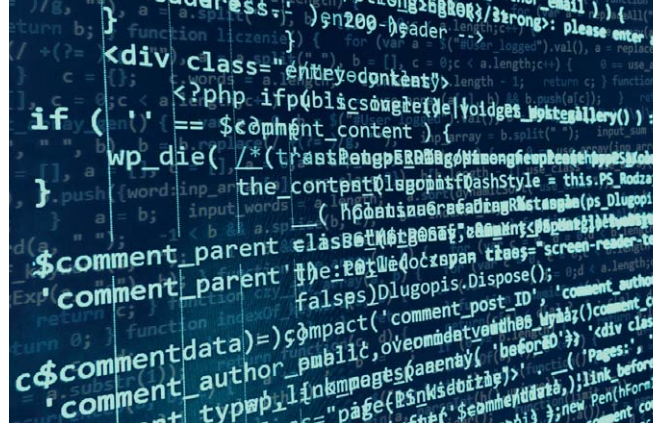
Det viser sig, at for de tre varianter Serrano, Habanero og BIH Jolokia, for hvilke der findes andre pålidelige undersøgelser udført på chilier, der har vokset i varmere klimaer end i Danmark, at de danske chilifrugter har sammenlignelige styrker. Desuden viser det sig, at forholdet mellem de forskellige capsaicinoider i de forskellige chilier varierer temmelig meget, og at indholdet af capsaicin kan svinge mellem 31% og 71% af det totale indhold af capsaicinoider.

Hvorfor spiser vi chili?

Det er et mysterium, hvorfor vi kan lide at spise noget, som giver en brændende og ubehagelig fornemmelse i munden. En teori går på, at capsaicin medvirker til dannelse af endorfiner i hjernen, som giver en behagelig og smertedæmpende effekt på samme måde som morfin. En anden forklaring er givet af den kendte smagsforsker Paul Rozin, som mener, at det er balancen mellem den brændende smerte og den efterfølgende lettelse, som opstår, når smerten ophører, der i hjernen udløser nydelse og belønning. ■



Læs mere på
science.ku.dk/ba



VÆLG DEN RIGTIGE UDDANNELSE FOR DIG

På Københavns Universitet har du gode muligheder for at opleve vores 21 naturvidenskabelige bacheloruddannelser. Det hjælper dig til at vælge den uddannelse, der bedst matcher, hvad du vil. Du kan blandt andet:

- BLIVE "STUDERENDE FOR EN DAG"
- BESØGE OS MED DIN KLASSE

21 NATURVIDENSKABELIGE BACHELORUDDANNELSER:

Biokemi, Biologi, Biologi-bioteknologi, Datalogi, De fysiske fag, Forsikringsmatematik, Fødevarer og ernæring, Geografi og geoinformatik, Geologi-geoscience, Have- og parkingeniør, Husdyrvidenskab, Idræt, Jordbrugsøkonomi, Kemi, Landskabsarkitektur, Matematik, Matematik-økonomi, Molekylær biomedicin, Nanoscience, Naturressourcer, Skov- og landskabsingeniør

BESØG OS PÅ FACEBOOK OG INSTAGRAM OG SE MERE OM STUDIELIVET PÅ UDDANNELSERNE:

 Læs på SCIENCE

 @scienceku

KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET



3D-RØNTGENSYN

afslører knoglernes indre

Knogler er opbygget i en kompleks struktur, som forskerne stadig ikke forstår vigtige dele af. Nye teknikker til at danne billeder af komplekse materialer ved hjælp af røntgenstråling hjælper nu forskerne til at besvare nogle af de mange åbne spørgsmål.

Forfatterne



Nina Kolln Wittig er cand.scient i kemi og arbejder som videnskabelig assistent i Lektor Henrik Birkedals forskningsgruppe på Aarhus Universitet. Hun arbejder med røntgenbilleddannelse og elektronmikroskopi til at svare på aktuelle spørgsmål indenfor knogleforskning. Nina modtog i 2016 et scholarstipendium fra Novo Nordisk og Novozymes til hendes specialeprojekt. Artiklen er baseret på et foredrag, som hun gav ved symposiet for dette års stipendiatmodtagere.
nkw@chem.au.dk



Henrik Birkedal er lektor ved institut for Kemi og ved forskningscentret iNANO på Aarhus Universitet. Han leder en forskningsgruppe, som arbejder med biologiske og bio-inspirerede materialer med specielt fokus på nye metoder til at karakterisere sådanne materialer.
hbirkedal@chem.au.dk

Skelettet er et af de vigtigste organer i hvirveldyr. Det spiller en afgørende rolle for bevægeapparatet, og uden det ville vi slet ikke kunne stå oprejst. Desuden beskytter det andre livsvigtige organer som lunger, hjerte og hjerne, og det opbevarer bestemte mineraler, som kan udskilles, når det er nødvendigt. I en gravid kvinde bliver calcium eksempelvis taget fra hendes skelet til opbygning af fosterets knogler. Knogle er altså ikke et uforanderligt, eller *statisk*, materiale, som mange måske forestiller sig, men tværtimod højst *dynamisk*. Skelettet er under konstant forandring for hele tiden at tilpasse sig ydre betingelser og de behov, som netop er gældende.

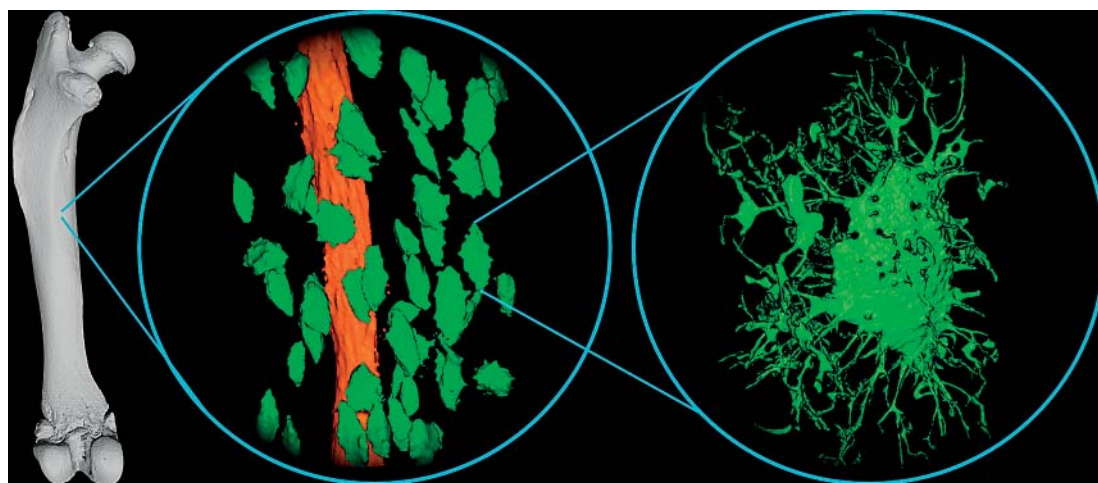
Derfor mister en astronaut knoglemasse efter kun kort tid i rummet, idet der udenfor Jordens tyngdefelt ikke er de samme krav til skelettets evne til at modstå belastninger, mens en tennisspiller får større knogler i "spille-armen". Således forsøger kroppen at optimere hver enkelt knogle til at kunne modstå de belastninger, som den kan forvente at møde, men ved brug af mindst muligt materiale. Det stiller store krav til knoglers opbygning, og de er på mange måder konstrueret sådan, som en ingeniør finder det mest optimalt.

Faktisk viser det sig, at knogle er opbygget meget lig det, vi ser i Eiffeltårnet. Det er bygget op af mange

små stænger, som i et 3-dimensionelt gitterlignende netværk former en større bjælke, der sammen med mange identiske bjælker igen danner et stort netværk, der tilsammen udgør et af tårnets fire ben. Vi siger, at det består af strukturelle elementer på flere forskellige længdeskalaer i en hierarkisk struktur. Det samme er tilfældet i knogler, som indeholder strukturelle elementer på længdeskalaer, der spænder hele vejen fra atomar- og nanometer-skala til formen af den hele knogle.

Hele skelettet udskiftes hvert 10. år

Vi forstår dog ikke præcis, hvordan skelettet er opbygget, og specielt ikke hvordan de enkelte komponenter



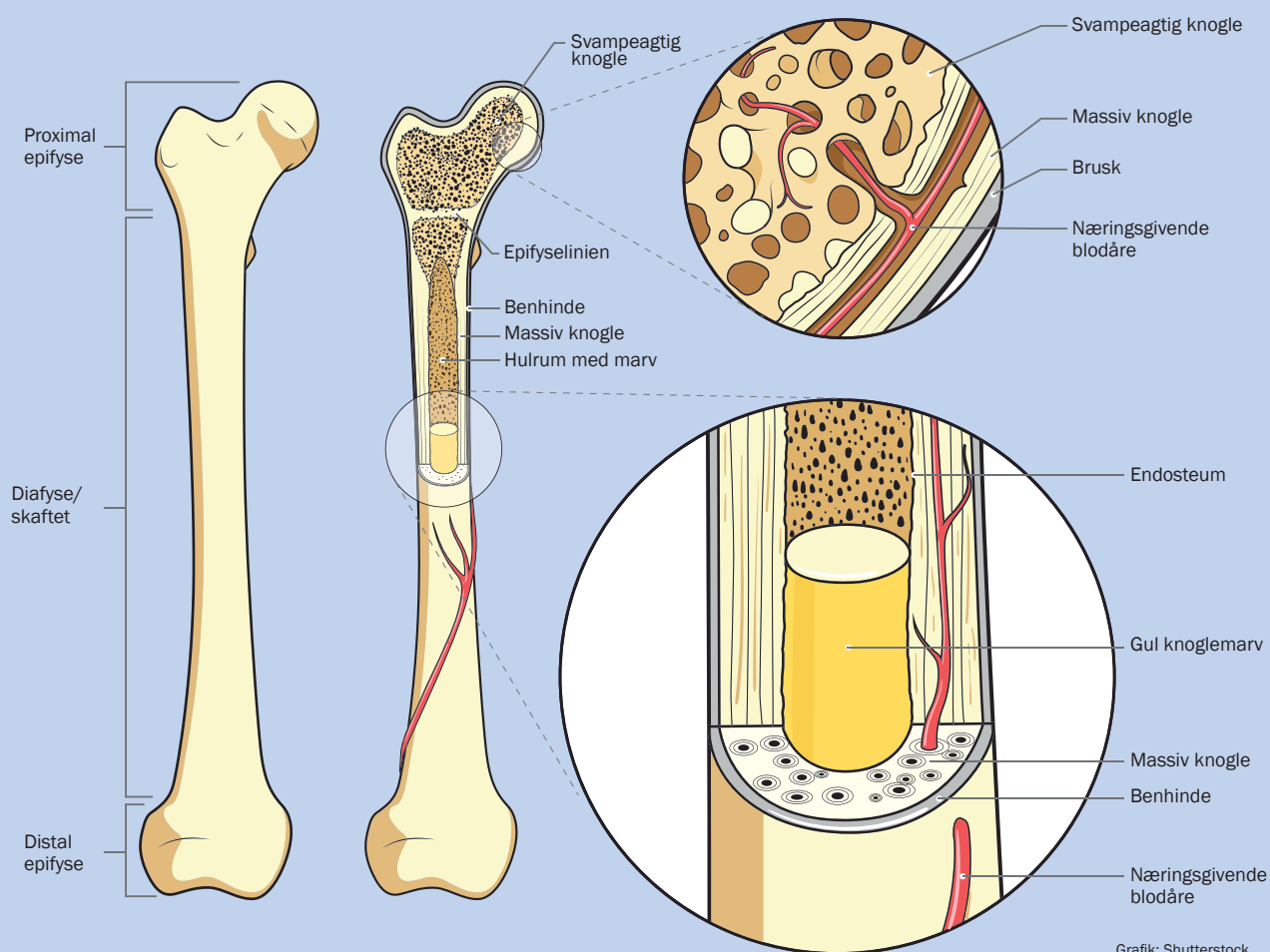
Ved hjælp af røntgenstråling kan vi se ind i knogle, og med de nyeste teknikker zoome længere og længere ind på selv de helt små detaljer. Billedet til venstre er taget med laboratorie-CT, som giver et billede af hele knoglen. Billedet i midten er fra synkrotron-CT, hvor man kan se detaljer i knoglens opbygning. De grønne strukturer er celle-hulrummene i knoglen, mens det røde er et blodkar. Til højre ses et billede fra de nye nano-CT eksperimenter. Her afsløres strukturen i det netværk af celler, der ligger begravet inde i knoglen.

Knoglers opbygning

Eiffeltårnet er bygget op af mange små stænger, som i et 3-dimensionelt gitterlignende netværk former en større bjælke, der sammen med mange identiske bjælker igen danner et stort netværk, der tilsammen udgør et af tårnets fire ben. Det samme er tilfældet i knogler, som indeholder strukturelle elementer på længdeskalaer, der spænder hele vejen fra atomar- og nanometer-skala til formen af den hele knogle. Tegningen viser strukturen af en lårbensknogle.



Foto: Joe deSouza



Grafik: Shutterstock

ter på nanometer-skala bidrager til knoglens overordnede egenskaber, såsom dens styrke. Samtidig er vores knogler fyldt med celler, som vedligeholder vores skelet ved hele tiden at fjerne gammel eller beskadiget knoglemasse og danne ny. Via denne proces, som vi kalder knogle-remodellering,

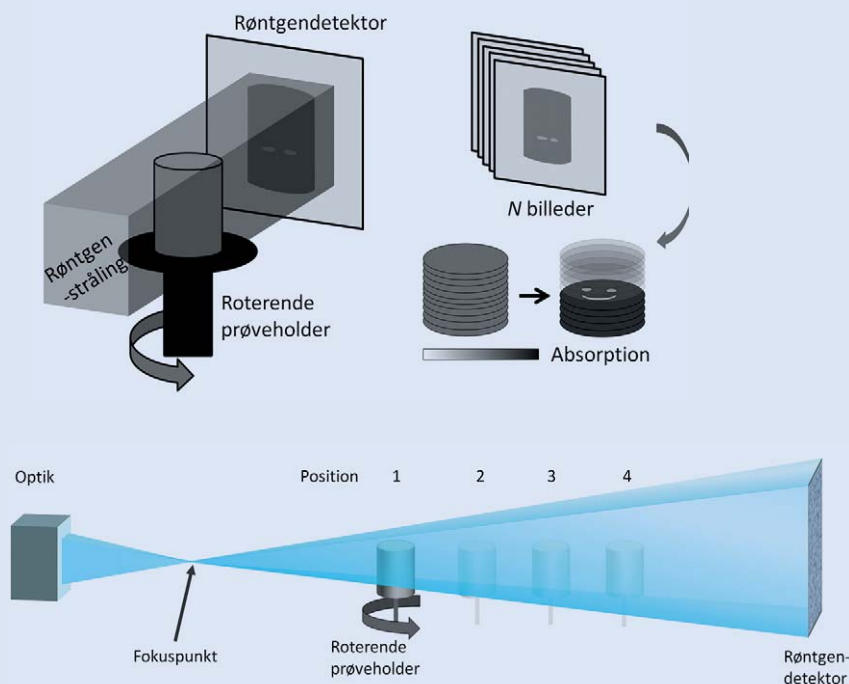
bliver hele skelettet i et voksent menneske i gennemsnit udskiftet i løbet af ca. 10 år. De celler, som aktivt udfører dette arbejde, sidder på alle knoglernes overflader, mens de celler, som styrer processen, ligger begravet inde i selve knoglen. Herfra kommunikerer de, ikke bare med hinanden og med de andre

knogleceller, men endda med flere andre organer via et enormt netværk af kanaler, som løber imellem cellerne internt og forbinder dem til blodforsyningen og dermed resten af kroppen.

Det er selvfølgelig enormt vigtigt, at alle disse processer foregår

Billeddannelse i 3D

Når røntgenstråling vekselvirker med stof, resulterer det i mange forskellige signaler. Vi kan måle de signaler og på den måde få information om materialet. Tomografi er en teknik til at danne billeder i 3D. Det gør man ved at tage billeder af prøven fra en mængde forskellige vinkler, hvorefter en computer kan beregne, hvordan prøvens interne 3D-struktur ser ud. Det mest brugte signal i tomografi er absorption, dvs., at man måler hvor meget røntgenstråling, der er blevet absorberet af prøven. Det fortæller os noget om mængden af materiale i prøven. Det er princippet bag de CT-skannere, der findes på hospitalerne, som skitseret i den øverste figur.



I nanotomografi, dvs. tomografi, hvor vi kan se detaljer indeni prøven på nanometer-skala, er vi nødt til at bruge nogle ekstra tricks for at opnå den meget høje opløsning. Først og fremmest skal røntgenkilden have nogle særlige egenskaber, der gør, at strålen ikke kun absorberes, men også danner interferensmønstre gennem afbøjning af strålen (refraktion). Ved en kort afstand mellem prøven og detektoren vil man hovedsageligt

måle absorption, mens afbøjningseffekterne bliver stærkere, når man øger denne afstand. Afbøjningen øger følsomheden ca. 100 gange i forhold til ren absorption. Af tekniske årsager udfører vi alle målingerne fire gange ved fire forskellige prøve-til-detektor afstande. Det er nødvendigt for at kunne udtrække den ekstra information optimalt, idet det gør det muligt at adskille absorptions- og afbøjningseffekter. For at opnå

en stor forstørrelse bruger vi noget helt særligt optik til at fokusere røntgenstrålingen ned til et meget lille punkt, fokuspunktet. Ved at placere prøven bagved fokuspunktet opnår vi automatisk en forstørrelse, idet strålen spredes yderligere fra den forlader prøven og til den når detektoren, som illustreret i den nederste figur. Resultatet er billeder med nano-opløsning, der indeholder præcis information om prøvens indhold.

præcist, som de skal, og når de ikke gør det, bliver vi syge. Knogleskørhed, også kaldet osteoporose (som betyder porøse knogler), er et eksempel på en meget almindelig knoglesygdom, som skyldes en ubalance i knogle-remodelleringen, sådan at der bliver fjernet mere knogle, end der dannes. Det betyder, at knoglerne bliver porøse og mere svage og dermed bliver risikoen for brud betydeligt forøget. Desværre forstår vi endnu ikke, hvorfor det sker, og derfor er vi heller ikke ret gode til hverken at diagnosticere eller behandle knogleskørhed, selvom ca. en halv million danskere over 50 år er ramt af sygdommen.

Mange åbne spørgsmål

Det er utroligt svært at lære noget om knoglens opbygning ved brug af sædvanlige metoder, såsom almindelig mikroskopi, fordi knogler ikke er gennemsigtige. Vi kan simpelthen ikke se ind i dem med det blotte øje uden at skære i dem og dermed ødelægge dem. Derfor bruger læger røntgen til at undersøge skelettet.

Vi har brug for at undersøge store knogleprøver, men med meget høj grad af detalje pga. den komplekse struktur, som spænder fra nanometer-skala til den hele knogle. Ydermere er der mange cellulære processer på spil, som det er svært

at kortlægge, og som gør knogle til et meget heterogent materiale, der varierer fra individ til individ, fra knogle til knogle og fra sted til sted i knoglen. Det er altså lige præcis de ting, som giver knogler deres imponerende egenskaber, som gør dem svære at forstå for forskerne, og mange spørgsmål indenfor knogleforskning står derfor stadig vidt åbne.

Knogleforskning og teknikker til at danne billeder ved hjælp af røntgenstråling har traditionelt været tæt sammenknyttet, fordi røntgenstråler kan gå igennem skelettet. Det kender vi fra hospitalerne, hvor røntgenbilleder bliver brugt til

Synkrotroner

En synkrotron er en stor partikel-accelerator, typisk med en omkreds på flere hundrede meter. Den fyldes almindeligvis med elektroner, som sendes rundt i den store ring med en hastighed, der er meget tæt på lysets. Ringen er udstyret med kraftfulde magneter, som sørger for at elektronerne afbøjes på en måde, så de følger ringens form, og mere kraftfulde magnetiske enheder kaldet undulatorer. Når elektronerne afbøjes af magneterne udsender de røntgenstråler.

Røntgenstrålingen fra undulatorer er op til en milliard gange mere kraftfuld, end hvad vi kan opnå i det almindelige laboratorium. Det er denne stråling, som vi og mange andre forskere primært bruger til vores eksperimenter. Fordi ringen er så stor, huser den faktisk en mængde laboratorier, kaldet beamlines. De er hver især optimeret til at bruge røntgenstrålingen til en bestemt type af eksperimenter, såsom forskellige typer af billeddannelsesteknikker.

Der findes omkring 50 internationale synkrotroner verden over, og de er dyre i drift. Synkrotron-tid er derfor meget kostbar, og der er skarp konkurrence om at få adgang til de bedste synkrotron-faciliteter. Når forskere er blevet tildelt et par dages måletid, arbejdes der døgnet rundt for at vride mest mulig viden ud af eksperimenterne. Fotografierne er fra den Europæiske Synkrotron Facilitet i Grenoble (Frankrig).

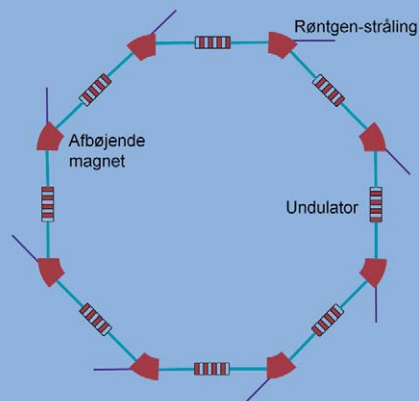
En ny synkrotron i absolut topklasse er netop blevet opført i Lund (Sverige), og den vil blive udstyret med en dansk beamline, DanMax. Den bliver optimeret til at udføre flere typer af eksperimenter, blandt andet forskellige typer af billeddannelsesteknikker og vil uden tvivl blive til stor fordel for dansk forskning og industri.

<https://www.maxiv.lu.se/accelerators-beamlines/beamlines/danmax/>

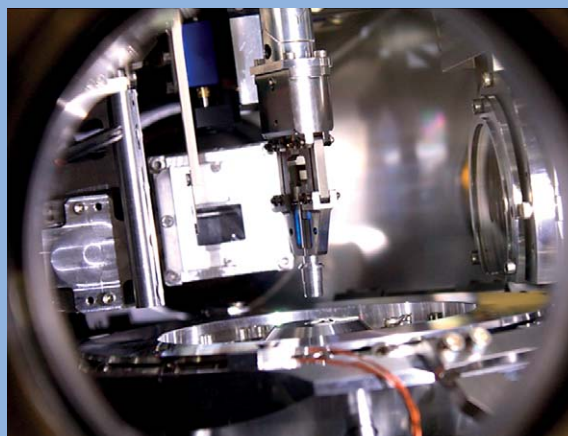


Luftfoto: EMBL-ESRF-IL/L Denis Morel

Billedet viser European Synchrotron Radiation Facility i Grenoble, Frankrig, hvor vores nano-CT målinger er foretaget.



Princippet i en synkrotronring. Røntgenstråling dannes ved afbøjningsmagneter og undulatorer og er vist med lilla farve på tegningen. Det er den kraftige stråling fra undulatorerne, som vi primært bruger til forskning.



Billedet viser, hvordan vi sætter en knogle-prøve ind i instrumenter ved brug af en høj-præcisions robotarm.

Forslag til yderligere læsning:

M. E. Birkbak Multi-modal X-ray Imaging of Hierarchical Materials, PhD-afhandling, Aarhus Universitet, 2016.

N. K. Wittig, F. L. Bach-Gansmo, M. E. Birkbak, M. Laugesen, A. Brüel, J. S. Thomsen, H. Birkedal "Organ and Tissue Level Properties are more Sensitive to Age than Osteocyte Lacunar Characteristics in Rat Cortical Bone" Bone Reports 2016, 4, 28-34. DOI: 10.1016/j.bonr.2015.11.003

F. L. Bach-Gansmo, N. K. Wittig, A. Brüel, J. S. Thomsen, H. Birkedal "Immobilization and long-term recovery results in large changes in bone structure and strength but no corresponding alterations of osteocyte lacunar properties" Bone 2016, 91, 139-147

at identificere brud på knoglerne. Desværre har opløsningen i sådanne billeder ikke hidtil været tilstrækkelig til at kunne skelne strukturelle elementer på nanometer-skala og dermed give det fulde billede. Den ideelle teknik skal kunne tilbyde os Supermands røntgensyn, men koblet til et ekstremt kraftfuldt mikroskop og helst i 3D.

Supermand findes

Vi har altså længe vidst, at røntgenstråling er vejen frem, når vi skal kigge ind i fx knogleprøver uden at skære dem op. Vi har også længe vidst, hvordan vi kan bruge røntgenstråling til at tage billeder i 3D, sådan at vi ikke kun får en projektion af vores prøve, men et fuldkomment billede af prøvens indre. Den teknik kaldes *Computed Tomografi*, eller *CT*, og bruges på hospitalerne, fx når et almindeligt røntgenbillede ikke kan afgøre, om der er et brud. Det, vi hidtil har manglet, er muligheden for at se selv de mindste detaljer af knoglens opbygning.

Billeddannelses-teknikker med røntgenstråling har været under rivende udvikling gennem de seneste årtier, og den ideelle teknik er, hvis ikke allerede tilgængelig, så lige på trapperne. Det betyder, at vi i dag har mulighed for at undersøge forholdsvist store stykker af knogle med meget høj opløsning og i 3D ved at tage hen til en såkaldt *synkrotron*. Disse store maskiner producerer den ekstremt kraftfulde røntgenstråling, der er nødvendig for at kunne lave sådanne eksperimenter. Ved at kombinere resultater fra forskellige typer af eksperimenter, som slår bro over flere forskellige længdeskalaer, kan vi få en meget større indsigt i hvilke processer, der finder sted i knogle, og hvordan de strukturelle elementer på de forskellige længdeskalaer hænger sammen og bidrager til den hele knogles egenskaber. Den kraftigt forbedrede opløsning svarer til den revolution, vi har set indenfor digitalkameraer, der nu er blevet

hvermandseje. Med synkrotron-CT kan vi fx kortlægge fordelingen af blodkar med stor nøjagtighed og se de hulrum, som knoglecellerne sidder i. Med de nye synkrotron nano-CT teknikker kan vi også se, hvordan knogle-cellerne kommunikationsnetværk er bygget op. Det giver adgang til mange nye svar, og vi har eksempelvis lige opdaget en ny struktur i celle-netværket inde i knoglen. Vi arbejder nu på at publicere opdagelsen, som kan betyde, at vi bliver nødt til at revidere de modeller for celle-kommunikation, som vi bruger i dag.

På den måde tager vi hele tiden nye skridt mod en komplet forståelse af knoglers opbygning. Det er vores forventning, at dette ikke kun vil bidrage til bedre diagnosticering og behandling af forskellige knoglesygdomme, men også give stor indsigt i, hvordan vi kan konstruere endnu bedre og smartere materialer til fremtidens teknologier. ■

Naturvidenskab

på Roskilde Universitet

Kom til åbent hus 3. maj
ruc.dk/naturvidenskabelig-bachelor

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



Ung ø med ældgammel undergrund

Seychellerne og Mauritius, som er beliggende i det Indiske Ocean mellem Indien og Madagaskar er ikke bare et yndet turistmål, men også af stor interesse for geologer. Geologien af øhavet omkring Seychellerne viser gamle granitbjergarter, der peger på, at området oprindeligt var en del af Indien og Madagaskar, før de to landområder brød op fra superkontinent Gondwana og populært sagt drev hvert til sit. Mauritius er derimod meget yngre og af vulkansk oprindelse dannet af opstrømmende lava fra en såkaldt "hot spot" for omkring 9 millioner år siden. Imidlertid rapporterede forskere i 2013, at sandkorn indsamlet på Mauritius' strande indeholdt mikroskopiske korn af mineralet zirkon, som antydede, at der under Mauritius fandtes rester af et næsten 2 milliarder år gammelt kontinent, som også havde været en del af et kontinent forbundet med Indien og Madagaskar. Forskerne ledet af norske Trond H. Torsvik foreslog på den baggrund navnet Mauritia for dette sunkne kontinent.

Da mineralkornene var indsamlet på stranden, kunne forskerne ikke udelukke muligheden for, at de var tilført med vinden eller med pimpsten, der var drevet i land og dermed ikke oprindeligt stammede fra Mauritius. Men den usikkerhed er nu endegyldigt manet i jorden. Forskerne har nu analyseret zirkon udvundet fra faste vulkanske bjergarter på Mauritius, som bekræfter eksistensen af Mauritia. Endvidere kan dette kontinent have en endnu længere historie. På øgruppen Mascarenerne vest for Madagaskar har forskerne nemlig fundet zirkoner fra kontinentet, der er op til 3 milliarder år gamle.



Foto: Susan F. Webb, Univ. of Witwatersrand



Indsamling af lavabjergarten trachyt på Mauritius. Bjergarterne er ca. 6 millioner år gamle, mens zirkonminerallerne i dem kan være op til 3 milliarder år gamle. Det lille billede viser et af de analyserede zirkon-korn.
Foto: GFZ

De nye resultater kan fortælle detaljer om, hvordan opbrydningen af superkontinentet Gondwana er foregået i den fase, hvor Antarktis, Australien og Indien blev skilt fra Madagaskar og Afrika. Det har tilsyneladende været en noget kompleks affære, hvor store fragmenter af kontinental skorpe er

blevet efterladt "flydende rundt" i det bassin, der udviklede sig til Det Indiske Ocean. Forskerne mener, at oceanbunden sagtens kan gemme på mange andre sådanne kontinentfragmenter.

CRK, *Nat Commun.* 2017; 8: 14086.



Forfatterne



Louise von Gersdorff Jørgensen er adjunkt og forsker i fiskens immunsystem, fiskesygdomme og vaccineudvikling. lvgi@sund.ku.dk



Kurt Buchmann er professor og arbejder med interaktioner mellem vært og patogen samt bæredygtige løsninger i akvakultur. kub@sund.ku.dk

Institut for Veterinær Sygdomsbiologi, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet
Københavns Universitet

Forskningen beskrevet i artiklen er støttet af Villum Fonden og Det Frie Forskningsråd, Teknologi og Produktion

ZEBRAFISKENS IMMUNSYSTEM PÅ FILM

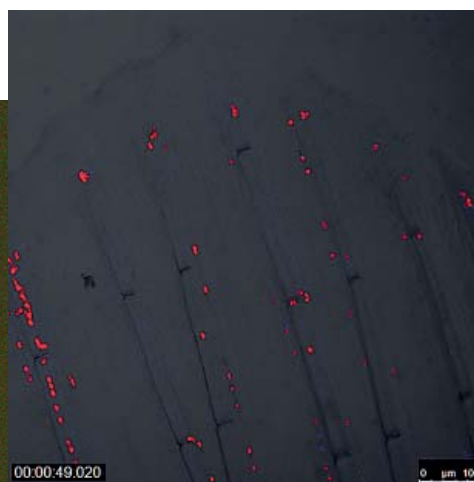
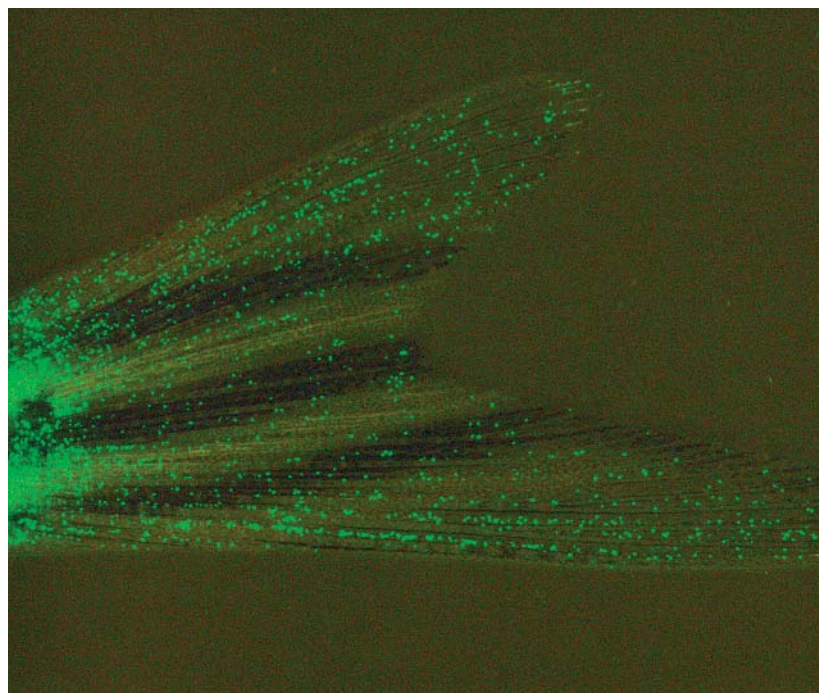
Ved hjælp af genmodificerede zebrafisk er det i dag muligt at filme fiskenes immunceller i aktion. Det kan give værdifuld viden om, hvordan fx parasitter er i stand til at undvige immunsystemet.

Zebrafisken er blevet en meget populær modelorganisme indenfor mange biovidenskaber. Den lille stribede fisk bruges, når forskere studerer fosterudvikling, genetik, aldring, immunologi og en lang række sygdomme, som bl.a. rammer mennesker. Fisken stammer oprindeligt fra det nordlige Indien, men er nu blevet et vigtigt redskab i de fleste moderne laboratorier. Der er mange fordele ved denne lille fisk, som er let at opdrætte i

laboratoriet, da den har en kort generationstid og får mange unger. For forskerne er det særligt interessant, at man kan følge fosterudviklingen direkte i mikroskopet, da både æg og larver er gennemsigtige. Hver eneste celledeling kan observeres, uden at man behøver manipulere med æg eller larver. Desuden kan man indsprøjte farvestoffer eller genmanipulerende materialer i de enkelte celler for at undersøge deres adfærd og skæbne.

Designer-fisk

Der er blevet etableret en lang række stammer af forskellige genmodificerede zebrafisk, som er blevet specifikt fremstillet til forskellige formål. Man har fx udviklet stammer af zebrafisk med indbygget hjertefejl, Alzheimers, Parkinsons og tarmbetændelse, så man kan studere udviklingen af disse sygdomme. Og man har frembragt zebrafisk med fluorescerende signalstoffer eller celler. Specielt er varianter, der tillader præcise studi-



↑ Screendump fra video af neutrofilernes bevægelse i en finne med røde-fluorescerende neutrofiler.

← Halefinne fra en GMO zebrafisk med grøn-fluorescerende neutrofiler.

← ← En zebrafiske-variant med gennemsigtig hud ses inficeret med *I. multifiliis* (hvide pletter).

er af bestemte immunceller og deres funktion, meget værdifulde. Ved hjælp af fluorescerende immunceller som makrofager, neutrofile celler og lymfocytter i zebrafisken kan man direkte studere trafikken i immunsystemet.

Zebrafisk med sådanne egenskaber er fremkommet ved hjælp af den genteknologiske teknik kaldet CRISPR. Teknikken tillader forskerne at tilføje gener, som giver fisken en række nye egenskaber. Zebrafisk med fluorescerende celler gør det muligt at analysere disse cellers adfærd under forskellige påvirkninger. I de små fiskelarver kan man hurtigt få et totalt overblik over immuncellernes trafik og adfærd, og i de større voksne fisk kan man få et grundigt indblik i cellernes kamp mod indtrængende sygdomskim blot ved at kigge nærmere på finnerne. Finnerne er nemlig delvist gennemsigtige og kun få cellelag tykke, så derfor kan de enkelte celler skelnes.

Fiskedræberen under lup

I vores forskning har vi brugt zebrafisk med fluorescerende celler til at studere fiskens reaktion på den sygdom, der kaldes fiskedræber eller hvidpletsyge. Sygdommen skyldes

en encellet ciliat (fimredyr) med navnet *Ichthyophthirius multifiliis*.

Parasitten er et alvorligt problem for fiskeopdræt verden over, ikke mindst i Danmark. Desuden tager snylteren livet af utallige fisk i akvarieindustrien. Der findes meget begrænsede behandlingsmuligheder og ingen forebyggende midler imod denne parasit.

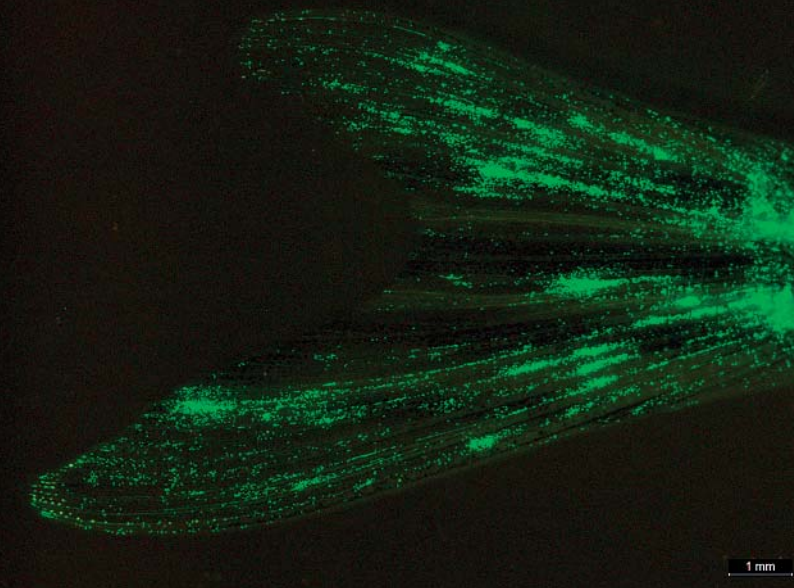
Med de genmodificerede zebrafisk har vi nu chancen for at gå i dybden med fiskens immunologiske respons, når den er under angreb af denne parasit. Parasitten angriber hud og gæller og borer sig ind i overfladen, hvor den i et stykke tid spiser fiskeceller og vokser sig stor. Den kan blive op til 1 mm i diameter og kan dermed ses med det blotte øje. Man ved ikke meget om zebrafiskens immunrespons imod denne parasit, og vi har derfor opstillet forsøg, der kan afsløre, hvorledes zebrafiskens neutrofile immunceller reagerer imod parasitten. Man ved, at neutrofile celler er meget vigtige i det allerførste respons, når vi bliver angrebet af sygdomsfremkaldende organismer, eller når vore indre og ydre overflader såsom lunger og mave-tarmsystem bliver brudt. De er de første celler, der ankommer til

skadesområdet, og de er effektive til at slå ihjel og genoprette normale tilstande i vævene.

Kampen i fisken

I vores forsøg udsatte vi genmodificerede zebrafisk, som havde fluorescerende neutrofile celler for 2500 fiskedræber-parasitter pr. fisk. Dernæst optog vi billeder af kamppladsen i fiskenes finner 24, 48 og 72 timer efter infektionen ved at lyse på fiskene med det rette fluorescenslys. Derved kunne vi tælle de fluorescerende celler på computeren og på den måde få en direkte kvantitativ måling af de neutrofile cellers reaktion på parasit-infektionen. Vi så en 4-dobling af antallet af neutrofile celler efter 24 timer, hvorefter antallet faldt de efterfølgende 2 døgn, men dog forblev højere end før infektionen.

Vi optog også adskillige videoer, hvor vi kunne se, at neutrofilerne kommer i direkte forbindelse med parasitterne, uden at parasitterne tager skade. Parasitter er kendt for at undvige værtsens immunsystem, og her kunne vi direkte observere, hvilken mekanisme fiskedræber-parasitten bl.a. benytter sig af for at holde værtsens immunsystem i skak: Den æder simpelthen værtsens



← En halefinne fra en GMO zebrafisk med grøn-fluorescerende neutrofiler 24 timer efter infektion med *I. multifiliis*. Det ses at de grønne neutrofiler akkumulerer omkring nogle af parasitterne.



→ Screendump fra video, der viser en roterende parasit (*I. multifiliis*) på halefinnen af en genmodificeret zebrafisk med grøn-fluorescerende neutrofile immunceller. De grønne celler ses både i forbindelse med parasitten og flydende forbi i blodårerne.

Videre læsning

I artiklen "Selvlysende bakterier og gennemsigtige fisk" fra Aktuelt Naturvidenskab nr 3/2016 fortæller forfatterne mere om forskning i fiskedræberparasitten og et forsøg på at udvikle en vaccine mod denne sygdom.

På aktuelt.naturvidenskab.dk kan du se videoer bl.a. med neutrofilernes bevægelse i en finne.

neutrofile celler, når de iler til kamp mod den indtrængende snylter. Vi kunne således både observere de fluorescerende celler indeni parasitterne, og vi så parasitter i færd med at spise cellerne.

Nye metoder – nye muligheder

Med disse helt nye metoder har vi altså en mulighed for at kigge helt ind i den levende fisk og analysere

immunresponsen helt ned på celledniveau. Vi kan følge enkeltceller eller følge en hel population af celler, og vi kan lave kvantitative målinger på deres adfærd og indbyrdes interaktioner.

Generelt åbner de genmodificerede zebrafisk en helt ny verden for bl.a. immunologer, hvor vi nu i detaljer har muligheden for at kortlægge

forskellige cellers adfærdsmønstre og funktion i afgrænsede områder på den voksne fisk. I larverne kan disse analyser omfatte hele fisken og inkludere mikroskop-teknikker til at kigge ind i alle organerne i fisken. Det kan også gøre os klogere på vores egen organisme, idet fiskens organer basalt set er opbygget på næsten samme måde som hos os mennesker. ■

Solcelle-workshop

Hvordan høster vi energi fra solen? Teoretisk og praktisk workshop om solceller for gymnasieklasser.

Workshoppen om solenergi omfatter:

- Teori om traditionelle og organiske solceller og solenergi
- Konvertering af solenergi til elektrisk energi
- Praktiske eksperimenter med målinger på solpaneler
- Databehandling
- Præsentation af konklusioner

Workshoppen varer 5-6 timer og kan gennemføres på gymnasiet eller hos SDU i Sønderborg. Undervisningen varetages af ingeniørstuderende fra SDU, der medbringer det nødvendige udstyr. Eleverne skal blot have adgang til PC med Excel samt kendskab til fagemnerne strøm, spænding og Ohms lov.

Se og book alle vores workshops, foredrag og brobygningstilbud på www.sdu.dk/tek/brobygning

Kontakt os for nærmere information:
Tlf. 6550 7444 / brobygning@tek.sdu.dk



Kæmpeplanet får sin stjerne til at svinge i takt

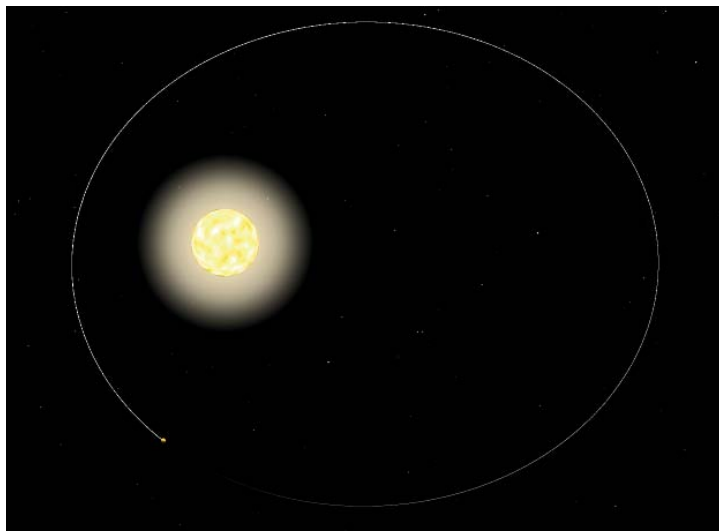
3 70 lysår borte i retning af stjernebilledet Hercules kredser en enorm planet i en meget aflang bane omkring stjernen med det mundrette navn HAT-P-2. Omløbstiden for planeten ser ud til at være koblet sammen med små regelmæssige udsving i stjernens lysstyrke, og det er noget, som ingen har observeret tidligere. Det fremgår af en ny videnskabelig artikel med dansk deltagelse, der for nylig er publiceret i tidsskriftet *Astrophysical Journal Letters*.

Vekselvirkningen imellem stjernen og dens planet må være en følge af tyngdekræfterne imellem de to himmellegemer, men forskerne kan endnu ikke forklare, hvad der konkret sker. Man har observeret en lignende vekselvirkning i dobbeltstjernesystemer, hvor stjernerne er meget tæt på hinanden, hvor begge stjerner pulserer som hjerter i takt. Men hvordan en planet – selvom den er 8 gange større end planeten Jupiter – kan få sin stjerne til at reagere er et mysterium.

Stjernen reagerer på planeten

Postdoc Victoria Antoci fra Stellar Astrophysics Centre på Aarhus Universitet er medforfatter på artiklen om den nye opdagelse. Hun fortæller:

»Det her er rigtig spændende, for hvis vores tolkning af observationerne er korrekt, fortæller det os, at planeter kan have en stærk indvirkning på de fysiske fænomener i deres moderstjerner. Med andre ord, så "ved" stjernen, at der er en planet i kredsløb, og den reagerer på det. Det er specielt spændende for mig, for jeg arbejder med asteroseismologi, hvor vi studerer stjernerne indre fysik ved at observere svingninger i deres lys. Her har vi fået en ny mulighed for at "bore" dybere ned i stjernens indre,



Planeten HAT-P-2b kommer så tæt ind forbi sin stjerne, at det får stjernen til at vibrere, men årsagen er ukendt. Kilde: NASA, MIT.

og det vil i den sidste ende hjælpe os til endnu bedre at forstå stjernerne sammensætning og deres udvikling.«

HAT-P-2 er en klasse-F stjerne, lidt større og lidt varmere end Solen. Planeten er en af de største gaskæmper, som indtil nu er observeret. Den store planet, som har fået navnet HAT-2-Pb, kredser om stjernen på 5 dage 15 timer og 7 minutter. Det ser vi, fordi stjernens lys svækkes en smule, hver gang planeten passerer hen forbi stjernen. Men stjernelyset varierer også med i en rytme på 87 minutter, og det "går op" i planetens omløbstid – der må altså være en eller anden indvirkning.

Som salt der får vand til at koge over

Det er astronomer fra USA, Canada og Aarhus, som har samarbejdet om artiklen. Observationerne af det tætte stjerne-planetpar stammer fra NASA's rumteleskop Spitzer, som i 350 timer har fulgt lysstyrkevariationerne i perioden imellem juli 2011 og november 2015. Som i så mange andre tilfælde, var det noget

helt andet, forskerne ledte efter fra starten. Formålet var et finde ud af, hvordan varmen fra stjernen fordelte sig i planetens atmosfære ved de tætte passager. Det ville give ny viden om vindforholdene og planetatmosfærens sammensætning. Da målingerne blev set nøjere efter dukkede denne svage, men regelmæssige rytme på 87 minutter op. Den var mest tydelig, når planeten passerede bagom stjernen.

Ifølge hovedforfatteren på artiklen, Julien de Wit, fra Massachusetts Institute of Technology svarer målingerne til, at fange lyden af en myg, som flyver forbi en jetmotor flere kilometer borte.

Forskerne har nogle ideer, som måske kan forklare fænomenet. Mange stjerner pulserer, og det kan tænkes, at den store planet lige netop trækker så meget i stjernen, at den bliver presset over i sådan en naturlig pulsering, lidt ligesom hvis man drysser salt i kogende vand, så det pludselig koger over. ■

Ole J. Knudsen, Stellar Astrophysics Centre, Aarhus Universitet

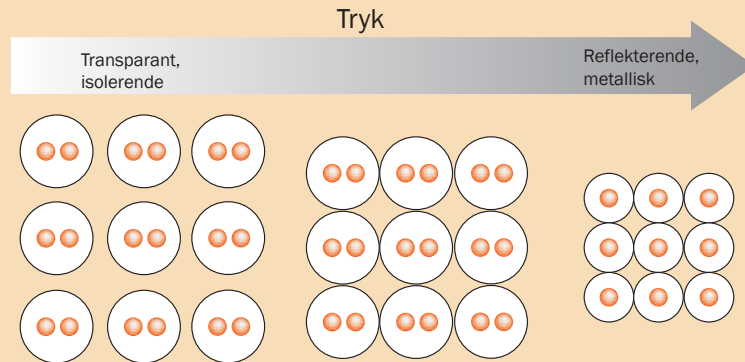
Metallisk hydrogen – en and?

I 1935 forudsagde de to fysikere Eugene Wigner og Hillard Bell Huntington, at hydrogen ved høje tryk kunne blive et metal. Under normale tryk og temperaturforhold eksisterer hydrogen som en molekylær gas bestående af H_2 -molekyler. I januar måned i år annoncerede Isaac Silvera og Ranga Dias fra Harvard University i tidsskriftet *Science*, at det faktisk var lykkedes dem at fremstille metallisk hydrogen. Det opnåede forskerne angiveligt ved først at presse hydrogen gas sammen mellem to modstående diamanter og derefter køle det ved meget lave temperaturer omkring 5 grader over det absolutte nulpunkt. Ved den behandling blev hydrogenen omdannet fra en gas til en fast, men stadig isolerende form. Derefter øgede de yderligere trykket i diamantambolten til svimlende 465 gigapascal (langt højere end trykket i Jordens kerne). Herved gik materialet fra at være isolerende til at blive metallisk, hvilket ifølge forskerne kunne observeres ved at hydrogen nu reflekterede lyset, fuldstændigt som vi kender det fra dagligdagens metaller som sølv og aluminium.

Begejstring og skepsis

Da forskerne annoncerede deres opdagelse vakte det stor opsigt – dels fordi det gav indsigt i de fundamentale egenskaber af hydrogen, dels fordi metallisk hydrogen teoretisk har egenskaber, der vil kunne gøre det til et revolutionerende nyt materiale i en række teknologier. Fx vil det teoretisk set være superledende ved stuetemperatur, og det vil kunne bruges som et yderst effektivt brændstof til raketter.

Langt fra alle, var dog imponerede over den nye opdagelse. I både



Principillustration af, hvordan fast hydrogen ved stigende tryk går fra en isolerende til metallisk tilstand.

Illustration: Aktuell Naturvidenskab

Nature og *Science* har der således været heftig kritik fra andre forskere, der ikke har været overbevist om, at Silvera og Dias reelt har produceret metallisk hydrogen. Fx kan det ifølge kritikerne have været aluminium eller aluminiumoxid, som bruges til belægning af diamanten i ambolten, som forskerne i virkeligheden har set reflektere lyset.

Prøve forsvundet

For nylig har kritikerne så fået ny næring til deres skepsis. For ifølge det britiske medie *The Independent* er forskernes metalliske hydrogen nu pist forsvundet fra deres prøveopstilling. De citerer Silvera for, at den uheldige begivenhed skete, da de ville undersøge trykket i materialet ved hjælp af en laser. Angiveligt pulveriserede et "fejlskud" med laseren simpelt hen den ene af diamanterne i ambolten, hvorved det fastklemte hydrogen forsvandt. Forskerne spekulerer, at den lille prøve kan være forsvundet et sted i den "metalpakning", som blev brugt til at holde prøven på plads i det knusende tryk mellem diamanterne. En anden mulighed er, at metallisk hydrogen er ustabil og

igen bliver til gas under normalt tryk og ved stuetemperatur. Det vil i så fald være et alvorligt slag mod forhåbninger om at kunne anvende metallisk hydrogen som mirakelmateriale. Potentielle anvendelser forudsætter nemlig, at materialet er metastabilt og således vil bevare sine egenskaber, når det sættes det fri fra de ekstreme betingelser, forskerne skaber det under.

Forskere vil reproducere forsøget

Selvfølgelig er der også den mulighed, at kritikerne har ret, og Silvera og Dias' metalliske hydrogen aldrig har eksisteret. Et af kritikpunkterne har været, at forskerne netop ikke har studeret materialet uden for diamantamboltens snærende greb. Det betyder, at diamanterne har udgjort en prisme, som har kunnet forvrænge resultaterne af de spektroskopiske undersøgelser.

Ifølge *The Independent* planlægger Silvera og Dias i skrivende stund at reproducere deres forsøg for om muligt at lukke munden på kritikerne. Om det vil lykkes, vil tiden vise.

CRK, Kilder: Vol. 355, Issue 6326, pp. 715-718 og independent.co.uk



AARHUS UNIVERSITET

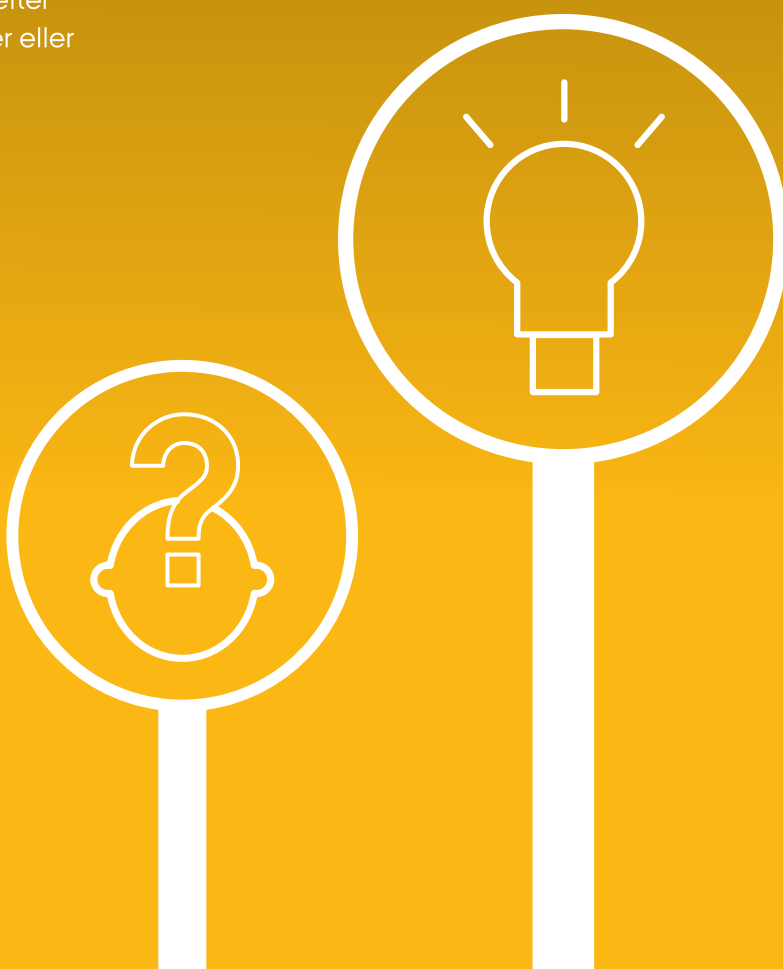


AARHUS UNIVERSITETS TILBUD TIL GYMNASIESKOLEN

AU.DK/GYM

På **au.dk/gym** kan du nemt og hurtigt få et overblik over alle de aktiviteter, der knytter sig til gymnasieskolens fag eller fagområder.

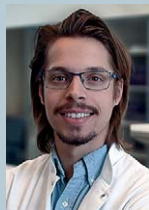
au.dk/gym er målrettet dig, der er gymnasielærer, uddannelsesleder, rektor el.lign., der leder efter aktiviteter relevante for dig selv, dine elever eller jer begge på Aarhus Universitet.



BAKTERIERNES USYNLIGHEDSKAPPE SKAL TRÆVLES OP

En ny forskningsgruppe ved Mikrobiologi på Syddansk Universitet har sat sig for at undersøge genetikken bag bakterien *Streptococcus pneumoniae* kapsel - den bakterielle usynlighedskappe. Finder vi ud af, hvordan den reguleres, er der potentiale for nye behandlingsmetoder.

Forfatterne



Patrick Rosendahl Andreassen er ph.d-studerende i mikrobiologi ved Syddansk Universitet. Patrick modtog i 2016 et scholarstipendium fra Novo Nordisk og Novozymes til sit specialeprojekt. Artiklen er baseret på et foredrag, som han gav ved symposiet for dette års stipendiemodtagere. prandreassen@bmb.sdu.dk

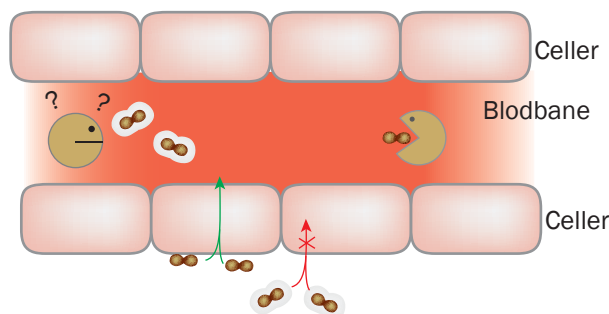


Mikkel Girke Jørgensen er adjunkt i mikrobiologi ved Syddansk Universitet. Han leder en nystartet gruppe, der arbejder med at undersøge den genetiske kontrol bag nogle af generne *Streptococcus pneumoniae* bruger til at forårsage sygdom i mennesker. mikkelfj@bmb.sdu.dk

For omkring et århundrede siden gav den anerkendte Canadiske læge Sir William Osler bakterien *Streptococcus pneumoniae* (*S. pneumoniae*) det meget sigende tilnavn "kaptajnen for alle dødens mænd". Den dag i dag er pneumonia (dvs. lungebetændelse) stadig den hyppigste årsag til dødsfald forårsaget af infektioner, og *Streptococcus pneumoniae* er den hyppigste årsag til disse infektioner. Nogle steder i verden er infektionerne så hyppige, at mere end 1 ud af 100 børn dør deraf. Det er anslået, at omkring 1 million børn på verdensplan dør årligt som følge af en infektion med *S. pneumoniae*. Det gør dermed *S. pneumoniae* til den bakterie, som slår flest mennesker ihjel. Sir William Osler's udtalelse er derfor sand selv den dag i dag.

Bakteriens usynlighedskappe

I det seneste århundrede har forskningen indenfor infektionsbiologi rykket sig meget. Ved at forstå de egenskaber, som gør bakterier i stand til at forårsage sygdomme (på fagsprog kaldes det deres virulensfaktorer), kan forskere



Streptokokker kan kun passere barrierer i kroppen ved at "smide" deres kapsel". Når de er kommet ind i blodbanen gendanner de kapslen og bliver dermed usynlige for immunsystemet. Streptokokker uden kapsel bliver derimod straks uskadeliggjort.

udvikle målrettede bekæmpelsesstrategier. Siden Sir William Osler's tid har forskere fundet ud af, at den vigtigste virulensfaktor for *S. pneumoniae* er en overfladestruktur kaldet "kapslen". Kapslen dækker hele bakteriens overflade, og den består af lange kæder af sukker (polysakkarider). Normalt genkender vores immunforsvar bakterier på bestemte overfladestrukturer, som er fremmede for kroppen. Men for bakterien fungerer kapslen som en usynlighedskappe, da vores immunforsvar ikke genkender polysakkaridkæderne i kapslen som noget fremmed. Derfor kan bakterien

bevæge sig frit i blodet og inficere forskellige organer, så længe den er dækket af sin kapsel. Til gengæld er en *S. pneumoniae*, som ikke er i stand til at danne kapsel, fuldstændig ufarlig for os – det har talrige undersøgelser vist.

Usynlighedskappen tages af og på efter behov

Nyere forskning har vist en interessant detalje omkring kapslen: Nemlig, at bakterien ikke kan krydse barrierer i vores krop (fx fra næsen til blodet) uden kortvarigt at smide kapslen. Bakterien skal altså både være i stand til at opbygge og smide



Mikkel Girke Jørgensen (ved mikroskopet) og Patrick Rosendahl Andreassen arbejder på at afdække, hvilke gener streptokok-bakterier bruger til at regulere deres kapsel.

sin usynlighedskappe under bestemte betingelser. Man ved, at kapslen dannes af en række enzymer og proteiner, som samlet set er indkodet i en gruppe gener kaldet *cps-generne* (hvor *cps* er en forkortelse af det engelske *CaPSule*). Men på trods af, at kapslen er så vigtig for, at bakterien kan forårsage sygdom, ved man kun meget lidt om de mekanismer, som bestemmer, hvordan disse gener reguleres. Hvis man kan kortlægge reguleringen, kan man arbejde på metoder, som forstyrrer eller ødelægger reguleringen af kapselstrukturen og derved potentielt forhindre bakterien i at gøre os syge.

I en nystartet forskningsgruppe ved Syddansk Universitet har vi derfor sat os for at kortlægge denne regulering. En række af vores projekter tager udgangspunkt i en ny metode, vi har designet, som gør os i stand til at bestemme, hvilke gener bakterien bruger til at regulere kapslen.

En ny metode til at kortlægge reguleringen

Ved at kombinere metoder, der allerede er veletablerede indenfor molekylærbiologi, er vi i stand til

at anskue problemstillingen fra en endnu uafprøvet vinkel – og indtil videre har vi opnået særdeles lovende resultater. Vores design indeholder overordnet fire elementer:

1. En metode til hurtigt at måle mængden af *cps*-proteiner i mange tusinde bakterieceller hver for sig.
2. Etablering af et bibliotek af bakterieceller, som hver især har fået "deaktiveret" et enkelt gen i arvemassen. Det vil sige, at én bakteriecelle mangler gen A, mens en anden celle mangler gen B og så fremdeles for samtlige gener i arvemassen. Eller rettere: Samtlige gener, som ikke er essentielle for, at bakterien kan overleve.
3. En metode til at isolere celler, som har et ændret udtryk af *Cps*-proteinerne i forhold til normale celler.
4. Identifikation af hvilke gener de isolerede celler mangler.

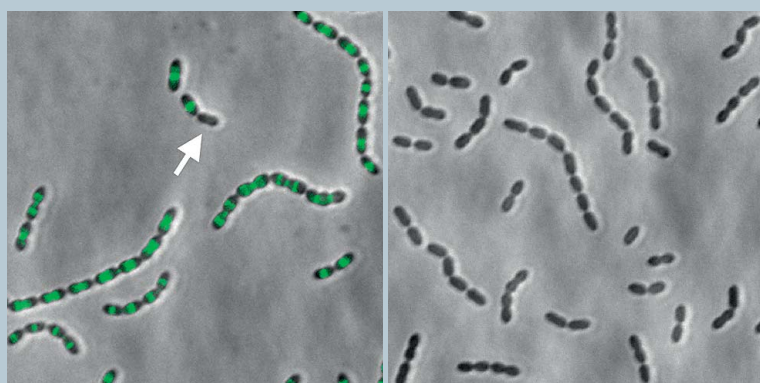
Med disse trin håber vi at kunne finde ud af, hvilke gener der er vigti-

ge for, at *cps*-generne bliver udtrykt korrekt.

Det første, vi undersøgte, var, hvordan udtrykket af *cps*-proteiner ser ud i en population af normale bakterieceller. Det viste sig, at alle bakteriecellerne udtrykker høje mængder af *cps*-proteiner under den vækstbetingelse, vi udsatte dem for i vores forsøg. Da vi undersøgte biblioteket af celler, som hver især manglede et gen, under den samme betingelse, viste det sig, at 0,5 % af populationen ikke udtrykte *cps*-generne. Det er efterfølgende lykkedes os at isolere disse celler og finde ud af, hvilke gener de isolerede celler mangler. Dermed har fået en liste af gener, som potentielt er involveret i at udtrykke *cps*-generne korrekt. Nu arbejder vi derfor med at undersøge denne liste med gen-kandidater.

Kortlægningen er kun lige begyndt

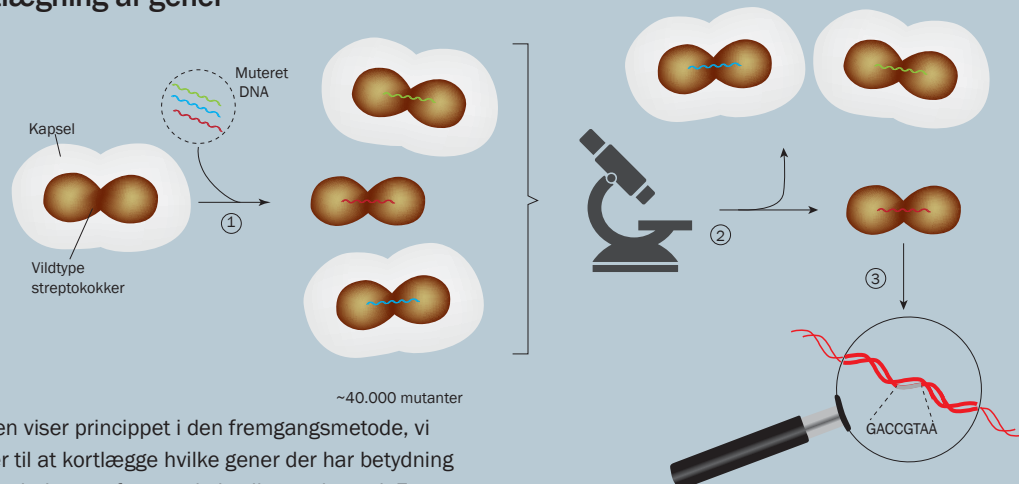
Det er vigtigt at understrege, at selv med en sådan liste over gener, er der stadig lang vej endnu, før man kan sige noget biologisk relevant



Under normale omstændigheder udtrykker *Streptococcus pneumoniae* cps-generne, der er involveret i dannelsen af bakteriens kapsel (dens "usynlighedsskappe"). Det ses på billedet ved, at bakteriecellerne lyser grønt. Ca. 0,5% af populationen i vores bibliotek af celler, der hver især mangler et gen, udtrykker ikke cps-generne og lyser derfor ikke grønt.

Disse celler har vi isoleret (det andet billede), og vi kan nu prøve at afsløre præcis hvilken biologisk funktion de gener, som de "ikke-lysende" bakterier mangler, har.

Kortlægning af gener



Figuren viser princippet i den fremgangsmetode, vi bruger til at kortlægge hvilke gener der har betydning for reguleringen af streptokokcellernes kapsel. Først indsætter vi tilfældige mutationer i DNA, som oprindeligt kommer fra streptokokker selv (1). Umutteret DNA erstattes herefter med forskellige variationer af muteret DNA i individuelle streptokokceller, hvorved vi opnår et bibliotek med mange tusinde forskellige mutanter. Vi analyserer derefter mutanterne og isole-

rer dem, der ikke er i stand til at udtrykke cps-generne og derfor mangler deres kapsel (2). Ved at sekventere det muterede DNA kan vi undersøge præcis hvilke gener de isolerede mutanter mangler (3).

om genernes funktion i forhold til, hvordan de udtrykker cps-proteiner. Det første trin bliver at validere genernes effekt på udtrykket af proteinerne – altså at tjekke, om det er en reel effekt, vi observerer, eller om det evt. er en bieffekt, som er opstået under etableringen af biblioteket. Det kan vi gøre ved at lave et målrettet design af bakterierne, hvor netop de mistænkte gener er gjort inaktive (det er i modsætning til den tilfældige inaktivering af gener, som er foretaget i forbindelse med etablering af biblioteket).

Hvis genernes effekt på cps-udtrykket kan valideres, skal vi undersøge, hvordan genernes funktion passer ind i det regulatoriske netværk. Er det fx et gen, som står for

produktionen af et specifikt molekyle – og hvordan påvirker molekylet i givet fald så cps-udtrykket? Er det et gen, der koder for et protein, som direkte kan binde cps-generne og ændre gen-udtrykket?

De forsøg, der skal laves fremadrettet, er derfor svære at spå om, for det afhænger meget af, hvilke resultater vi får. Vi kan dog være sikre på, at vi skal komme op med mange hypoteser, som skal testes, når vi har valideret de gener, vi vil undersøge.

Det ultimative mål

Når man arbejder med noget så komplekst og udforsket som kapselreguleringen, forventer vi også at det bliver en stor udfordring at

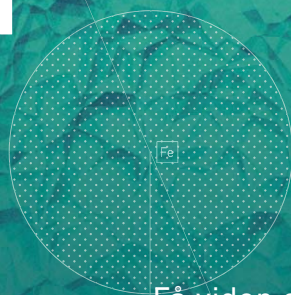
kortlægge den. Vi har dog et rigtig godt udgangspunkt at starte med, når vi ved, hvilke gener der er en del af kortet, og vi "blot" skal findes deres plads heri.

Den store interesse i at forstå, hvordan *Streptococcus pneumoniae* regulerer sin kapsel bunder selvfølgelig i, at vi med denne viden også kan undersøge, hvordan vi forstyrrer denne regulering. Hvis vi kan forstyrre eller ligefrem ødelægge kapslen, vil bakterien i praksis være uskadeliggjort.

Vi har i vores forskning taget de første skridt på vejen mod dette ultimative mål allerede, og vi glæder os til at se, hvor de næste trin bringer os hen. ■

FORSTÅ LIVETS BYGGESTEN

KEMI PÅ
AALBORG
UNIVERSITET



Få viden om og redskaber til, hvordan man udnytter molekylær viden til at designe nye processer og materialer.

På uddannelsen i Kemi lærer man om molekyler og deres indbyrdes vekselvirkninger for at kunne forstå komplekse materialer.

6396 km

5150 km

2900 km

660 km

flytverden.dk



AALBORG UNIVERSITET
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN

Engagementet var i top, da Københavns Universitet i samarbejde med Aarhus Universitet afholdt biodiversitetssymposium den 2. og 3. februar 2017.

Foto: Mikkel Rene Andersen



STOR INTERESSE FOR BEDRE NATURGENOPRETNING

At sikre biodiversiteten og vores natur på land kræver, at forskning og praktisk viden bringes i spil i et tværfagligt samarbejde. I mange år har det haltet gevaldigt, men nu samles man i et fælles forum. Det giver grund til optimisme, da erfaringen fra søer og vandløb er, at en vedholdende indsats nytter.

Om forfatteren



Kaj Sand-Jensen
Professor ved Ferskvandbiologisk Sektion,
Biologisk Institut,
Københavns Universitet
ksandjensen@bio.ku.dk

Viden fra forskning skal gerne udmøntes i praksis til gavn for borgerne og samfundet. I mange discipliner er forskning og praktik intimt forbundne. Sådan er det, når lægemidler testes klinisk før endelig godkendelse, og når ny teknologi og metoder til naturgenopretning afprøves i praksis. Ideerne må ud fra skrivebordene og laboratorierne og stå sin prøve i den virkelige verden. Den praktiske test af produkter og metoder er ofte

hundredyr og kræver tæt dialog med og økonomisk støtte af praktikere. Implementering af bedre løsninger kræver også overførsel af viden og accept fra beslutningstagere.

I 40 år har jeg været en del af det dialogforum mellem akvatiske forskere, ingeniører og statslige og kommunale medarbejdere, der arbejder med vandrensning og naturgenopretning af søer, vandløb og kystfarvande. Kontakten og vidensudvekslingen har vi sikret med fælles

møder og etablering af tre populærvidenskabelige tidsskrifter (senest *Vand & Jord*). Til sammenligning har det derimod knebet gevaldigt med at udvikle tværfagligt samarbejde og vidensoverførsel om naturen på land, og hvordan vi forvalter den optimalt. Men nu rykker det!

Naturen står højt på agendaen

Den 2. og 3. februar 2017 blev der afholdt biodiversitetssymposium på Københavns Universitet med 335 deltagere fra kommuner, stats-



Fotos: Theis Kragh.

Naturgenopretning med mirakuløs effekt. Udsigt over de druknede stubmarker et halvt år efter, at Filsø blev geoprettet. →

↑ Blot to år senere var alt det organiske stof borte, og søbunden var blevet koloniseret af sjældne plantearter – her krybende søpryd, som kun er kendt fra Filsø



lige styrelser, konsulentfirmaer, universiteter og grønne organisationer. Symposiet var arrangeret af Københavns og Aarhus Universitet og var det fjerde i rækken siden 2011. Mange kommuner prioriterer nu deltagelse i symposiet, således at de er talstærkt repræsenteret. Aage V. Jensen Naturfond og 15. juni-fonden, som sammen med Villum Fonden er de store bidragsydere til sikring og forskning i dansk natur og biodiversitet, var også til stede i de propfyldte auditorier. Der er ingen tvivl – biodiversitet og naturkvalitet står højt på deltagernes og øvrige borgeres agenda.

Både forskningsresultater, praktisk indsats samt juridiske, etiske og økonomiske aspekter blev diskuteret på symposiet. Erfaringer fra

vores nabolande blev præsenteret – fx et humoristisk indlæg om eksperimenter med dødt ved i Norges skove. Her sprængte man bogstaveligt 160 aspetræer i luften og kunne derefter følge indvandringen af træborende biller. Et spændende foredrag fortalte om hollandske erfaringer med naturpleje med græssende heste og kvæg i store områder, hvor man undlod at regulere bestanden og give tilskudsfoder om vinteren. Det betød, at intensiteten af dyrenes græsning varierede til gavn for plantelivet, og svage dyr døde af sult om vinteren til glæde for ådselsædere.

Borgerne drager i felten

Højt på symposiets emneliste stod borgerinddragelse i studier af biodiversiteten. Såkaldt *Citizen science*

har længe været en afgørende forudsætning ved landsdækkende kortlægning af planter, svampe, guldsmede, padder og fugle. Den nyligt publicerede kortlægning af samtlige danske plantearters udbredelse i 1300 ruder på 5x5 km fordelt over hele landet hviler således på en kæmpeindsats over mange år af omkring 100 frivillige, der har stået for langt det meste feltarbejde. Artskendskabet hos de frivillige feltbotanikere overstiger på dette område ekspertisen hos de professionelle med universitetsgrader.

Det er ikke en ny situation. I begyndelsen og midten af 1900-tallet var borgmester og lærer Esben Petersen i Silkeborg, urmager Hjalmar Ussing i Randers og landpost Carlo

Citizen science: Lystfiskere kan måle, veje og fotografere gedder inden de genudsættes. Det sort-hvid mønster på kroppen kan identificere det enkelte individ. Ved fangst og genfangst kan geddernes vækst og bestandsstørrelse beregnes i samarbejde med ferskvandsforskere.

Foto: Theis Kragh.



Jensen i Tarm nationale og internationale eksperter på artsidentifikation og kortlægning af vandinsekter i jyske vandløb. I dag kan citizen science styrke den lokale interesse og ejerskabet i en stadig fattigere dansk natur. Et aktuelt eksempel er brug af fotos til kortlægningen af de danske svampearter, som har afsløret en række nye arter for landet. Med nye målemetoder og fotografisk dokumentation af arter og miljøforhold – støttet af internet-kommunikation mellem borgere og projektledere – kan repertoiret og omfanget af borgerdeltagelse i naturstudier udvides i fremtiden.

I kommende studier af nye søer vil vi forsøge at inddrage lystfiskere i studier af gedders vækst og bestandsstørrelse. Gedder går ikke i garnene, men fanges på stang. De enkelte individer kan måles og vejes, men også identificeres inden de genudsættes vha. det sort-hvide mønster på kroppen – omtrent som fingeraftryk hos os. Ved at fange og genfange gedderne, kan man fastlægge deres vækst, kondition og bestandsstørrelse.

En fælles forpligtelse

Få dage inden symposiet havde den private Aage V. Jensen Naturfond bevilget 64 millioner til forskning i naturforvaltning med motivationen: »Der er behov for ny viden, bedre forvaltningsværktøjer og et mere målrettet fokus, hvis dansk natur og biodiversitet skal gå mod lysere tider.« Ganske rigtigt. En ny NOVA-

NA-rapport viser, at der fortsat er tilbagegang for antallet af arter i 11 ud af 17 danske naturtyper. Tilbagegangen er særligt stor på land og fortsætter endog i de ”beskyttede” Natura 2000 områder. Det er en løftet pegefinger til kommunerne, som reelt er forpligtet til at sikre, at tilbagegangen stoppes i kommunalt- og privatejede områder, selv om forpligtelsen nok ikke er gået op for en del kommunalpolitikere.

Sikring af naturkvaliteten og biodiversiteten er en national forpligtelse. Danmark har faktisk både i FN, EU og Folketinget forpligtet sig til at stoppe tilbagegangen i biodiversiteten. I første omgang skulle målet nås i 2010. Da det ikke lykkedes, blev målet udskudt til 2020. Med mindre politikerne øjeblikkeligt sadler om, når vi heller ikke den udskudte deadline. Næringstilførslen er fortsat en enorm byrde for Danmarks natur på land og i vand. Intensiv skovdrift med kæmpe-maskiner er skidt for skovene.

Vedholdende indsats skaber fremskridt

Lyspunkterne for biodiversiteten har været vandløb og søer. I perioden 1985-2015 efter tre Vandmiljøplaner og vedtagelse af forbedret håndtering af husdyr- og handelsgødning – krydret med genslyngning af vandløb, etablering af gydebanker og udyrkede bræmmer langs vandløbene samt oprettelse af 50 større nye søer – oplevede vandløbene en kvalitetsfremgang

for smådyr, ørred og laks, og adskillige søer fik klarere vand og flere vandplanter. Frem til 2015, inden vedtagelse af Landbrugspakken i februar 2016, så søer, vandløb og kystvande ud til, næsten som de eneste danske naturtyper, at kunne opfylde de vedtagne målsætninger om at stoppe tilbagegangen af biodiversiteten før 2020 og endog vende den til fremgang. Nu er fremtiden mere usikker.

Lyspunkterne for søer, vandløb og kystområder viser, at en vedholdende indsats skaber fremskridt for naturen og arterne. Etablering af nye søer og omdannelse af granplantager til lysåben græsningsskov kan til tider have næsten mirakuløse effekter. Her ligger den fælles opgave for forskere, jordejere, fonde og myndigheder at vende den nedvisnede natur til den grønne, oplevelsesrige natur. Det kan kun ske ved en vedholdende naturindsats, som udnytter den bedste viden og praktiske forvaltning.

Men skal det lykkes, er der ikke plads til de allestedsværende ødelæggende kompromisser, som eksempelvis betyder, at der i kystområder under langsom forbedring lukkes op for stærkt forurenende havdambrug og tilladelse til mere intensiv muslingeskrabning. Det dur heller ikke, at der i naturbeskyttede vådområder alligevel gives tilladelse til, eller ikke gribes ind overfor, fortsat sænkning af vandstanden og tilførsel af gødningsstoffer. ■



Forskere vækker silicium til live

Silicium er et af de mest almindelige grundstoffer på Jorden – i jordskorpen er det således kun oxygen, som der findes mere af. Til trods for, at der er masser af silicium til rådighed, har livet “valgt” stort set at ignorere dette grundstof. Livet udnytter ellers en række metaller i biokemiske processer som jern i de røde blodlegemer og magnesium i klorofyl. Men silicium, som både har egenskaber karakteristisk for metaller og ikke-metaller, lader i levende organismer kun til at optræde i bio-uorganiske forbindelser, som man fx ser i skallerne af encellede alger kaldet diatomeer. Det indgår aldrig i de grundlæggende, kulstofbaserede processer, som liv er bygget på.

Kemikere har længe været i stand til at binde kulstof og silicium sammen i laboratoriet ved hjælp af en syntetisk katalysator. Og organiske

forbindelser indeholdende silicium er vigtige i mange anvendelser fra polymerer til halvledermaterialer.

I levende organismer dannes den type bindinger altså ikke, men et godt spørgsmål er, om naturlige enzymer vil kunne gøre mennesket kunsten efter givet de rette omstændigheder. Det spørgsmål har kemiingeniøren Frances Arnold fra California Institute of Technology i Pasadena og kolleger givet et bekræftende svar på. Forskerne har indsat genet for et enzym fundet i den termofile bakterie *Rhodothermus marinus*, som lever i varme kilder i Island, i en *E. coli*-bakterie. Det viste sig, at enzymet efterfølgende var i stand til at katalysere dannelsen af kulstof-siliciumbindinger, hvis bakterierne blev fodret med de rette siliciumholdige forbindelser.

Den genetisk modificerede *E. coli* var i udgangspunktet ikke speciel

effektiv til at producere de organiske siliciumforbindelser. Derfor introducerede forskerne mutationer i den aktive region af enzymet og udvalgte derefter de bakterier, som havde gjort fremskridt. Nogle få generationers selektion var nok til at forbedre effektiviteten så meget, at den var 15 gange bedre end syntetiske katalysatorer brugt i industrien.

De nye resultater kan åbne op for helt nye muligheder indenfor lægemiddelforskningen. Og så kan det hjælpe med at belyse det meget fundamentale spørgsmål om, hvorvidt livets fravalg af silicium er en tilfældighed eller ej. Man vil nu kunne begynde at studere de helt praktiske omkostninger og fordele ved at indbygge silicium i levende organismer.

CRK, *Science*, vol. 354, Iss. 6315, pp. 1048-1051

Den blå lagune i Island er bl.a. hjemsted for den termofile bakterie *Rhodothermus marinus*. Foto: colourbox

NÅR BAKTERIER BLIVER TIL PLASTER

En gruppe studerende fra SDU oplevede i efteråret 2016 succes i en international konkurrence i *syntetisk biologi*. Deres projekt går ud på at udnytte bakterier til at fremstille et anti-infektiøst plaster. To af deltagerne fortæller her om projektet og de forskningsetiske overvejelser, man gør sig som forskerspire.

Forfatterne



Brian Kenn Baltzar er studerende i biomedicin på instituttet for biokemi og molekylær biologi ved SDU
brian@baltzar.dk



Rikke Friis Bentzon, er studerende i filosofi på instituttet for kulturvidenskaber, med sidefag på biologi på biologisk institut ved SDU
rikkefriis@outlook.dk

Begge forfatterne var en del af SDU's 12 personer store iGEM-hold år i 2016.

Salen er mørklagt, værterne er i galla og et farverigt lysshow oplyser salen. Det er prisuddelingen for det uofficielle verdensmesterskab i syntetisk biologi, iGEM 2016, og de 300 hold – omkring 5600 mennesker – sidder på kanten af deres stole, spændte. De fleste i holdtrøjer, morgenhår og med kaffe i hånden, for klokken er trods alt kun 8:30 lokal tid.

Vi glemte hurtigt den mærkelige følelse af at sidde til, hvad der føles som en gallafest, da prisuddelingen gik i gang. Vi, iGEM-holdet fra SDU, havde sat vores mål på prisen for "Best Wiki" – eller i hvert fald en nominering til prisen. Snart blev der dog råbt, hujet og grædt en smule, da vi blev nomineret til 4 priser: Best Wiki, Best Poster, Best Presentation og Best Public education and engagement. Vi vandt Best Wiki og fik et flot trofæ med hjem sammen med vores guldmedalje.

Syntetisk biologi i samfundets tjeneste

Syntetisk biologi handler om at fremstille nye biologiske "maskiner" eller skabe funktioner, der ikke findes naturligt. På den måde



Foto fra iGEM 2016 – det uofficielle verdensmesterskab i syntetisk biologi.

kan man hurtigt og nemt fremstille produkter, der før tog flere uger samt var dyre og besværlige at fremstille. Tidligere iGEM-hold har fx produceret syntetisk gummi, som er syntetiseret af *E. coli*-bakterier – andre har forsøgt at få *E. coli* til at fungere som en næringsform. At skabe biologiske maskiner er ikke noget, man gør henover en weekend, men snarere noget man bruger hele sin sommer på. Det var i hvert fald, hvad vi alle 12 gjorde: Fra marts 2016 og frem til vi tog af

sted til Boston i slutningen af oktober var der nogle i laboratoriet hver eneste dag. Ofte var der mange i laboratoriet hele dagen.

Vi valgte alle iGEM af forskellige grunde og motivationer. Men fælles for os var, at iGEM er et frivilligt forskningsprojekt ved siden af studierne, som giver mulighed for at finde løsninger på nogle af samfundets store problemer, mens vi fik ny viden og erfaring. Arbejdet foregik på institut for Biokemi og Molekylær



IGEM

iGEM er en international konkurrence i syntetisk biologi, og betegnes populært som det uofficielle verdensmesterskab i syntetisk biologi for studerende på både universitets- og gymnasieniveau. Konkurrencen går ud på at løse virkelige samfundsproblemer ved at bygge genetisk modificerede, biologiske systemer. Siden starten i 2003 har iGEM kun vokset sig større år for år – i 2016 var der over 5600 deltagere fra i alt 42 lande.

Syddansk Universitet har deltaget siden 2009, og projekterne har blandt andet drejet sig om at få bakterier til at producere gummi, fremstille en komplet næringskilde fra modificeret *E. coli* - og i 2016 en antiinfektøs bandage.

iGEM-holdet fra SDU i 2016 →



Biologi, hvor vi blev vejledt – og holdt under kyndigt opsyn – af adjunkt Mikkel Girke Jørgensen og to ph.d.-studerende, Patrick og Thøger. Vores vejledere har ikke bestemt projektet for os. Men de har støttet os, trøstet os og opmuntret os. For det har været en lang tur.

Bakteriedræbende plaster

Vores projekt går ud på at konstruere et helingsfremmende og anti-infektøst plaster fremstillet udelukkende i bakterien *E. coli*. Det

vil vi gøre ved at indsætte gener for edderkoppesilke i bakteriens genom sammen med gener for forskellige antimikrobielle proteiner (bakteriociner). Ved denne metode kan vi specifikt bestemme, hvilke bakterier vi ønsker at dræbe. Ydersiden af plasteret består af bionedbrydeligt plastik, som ligeledes er fremstillet af bakterier. Det gør vores produkt 100% bionedbrydeligt, og det vil derfor ikke have nogle negative indvirkninger på miljøet – hverken nu eller i fremtiden.

Hvor traditionelle antibiotika fejler i bekæmpelsen af resistente bakterier, kan vores alternative form for antibiotika slå selv de sejeste resistente bakterier ihjel. De fleste bakterier udskiller proteiner, kaldet bakteriociner. Disse proteiner bruges i kampen om plads og næring. Bakteriociner er små proteiner, der har bakteriedræbende effekt mod andre, ofte nærtbeslægtede, bakterier. Mange af dem virker ved at sætte sig på cellemembranen og danne porer. Det betyder,

Antibiotikaresistens

Bakterier deler sig voldsomt hurtigt. En enkelt bakterie kan efter 4 timer have formoreret sig til over 4000 bakterier og efter 8 timer vil der være tæt på 17 millioner bakterier. Hver gang cellerne deler sig, kan der opstå mutationer, da kopieringen af DNA kan føre til fejlkodning. De fleste mutationer vil enten være skadelige for cellen eller neutrale, men nogle mutationer kan tilføre cellen nye nyttige egenskaber som øget modstandsdygtighed overfor et antibiotikum.

Når man bruger antibiotika, slår det alle de ikke-resistente bakterier ihjel, hvilket giver gode vækstbetingelser for de resistente bakterier. På den måde sker der en uhensigtsmæssig selektion af de resistente bakterier, som derefter kan sprede sig til andre værter.

Ifølge Verdenssundhedsorganisationen WHO er resistens mod antibiotika en af de største globale trusler mod menneskets sundhed i dag. Multiresistente bakterier er årsag til 700.000 dødsfald hvert år og vurderes at ville vokse til mere end 10 millioner årlige dødsfald inden år 2050. Dermed vil multiresistente bakterier overhale cancer som dødsårsag. Hvis denne udvikling får

at membranen bliver permeabel, og bakterien dør, fordi den mister næringsstoffer og pH-værdien ændres. Andre bakteriociner virker ved at nedbryde bakteriens DNA eller spalte ribosomernes RNA-molekyler, hvilket stopper proteinsyntesen. Bakteriociner er meget effektive, og ofte er et enkelt proteinmolekyle nok til at dræbe bakterien. Derudover virker bakteriociner i hele bakteriens levetid modsat fx antibiotika som penicillin og vancomycin, der hæmmer syntetiseringen af bakteriens cellevæg, men kun i bakterier, der er under vækst. Hvis bakterien er i dvale, vil den ikke blive ramt og vil

lov til at fortsætte, vil vi altså inden for få årtier kunne komme til at leve i en verden som før Alexander Flemming opdagede penicillin i 1928. En verden hvor simple infektioner som lunge- eller blærebetændelse eller en simpel rutineoperation kan være dødbringende.

Figuren viser forskellige resistensmekanismer, som er i spil bakterier:

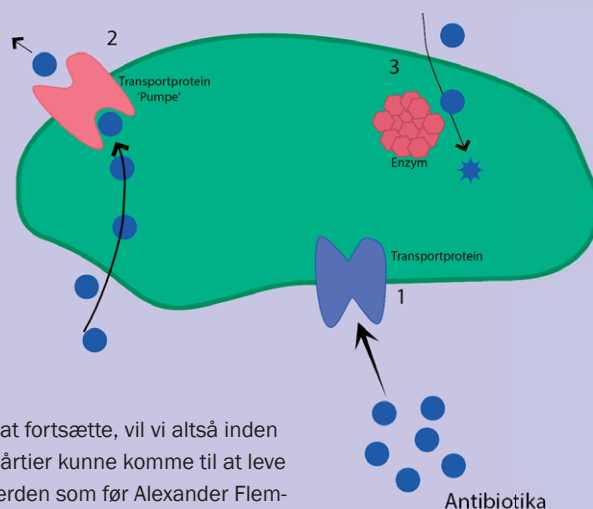
1. Ukompatibelt transportprotein:

Bakterier har en cellemembran, der adskiller det indre miljø fra det ydre samt forhindrer stoffer i at trænge ind i bakterien. For at antibiotika kan trænge ind i cellen kræver det derfor nogle overfladeproteiner – transportproteiner – der kan lukke antibiotikummet ind i cellen. Transportproteiner er meget specifikke, hvilket betyder at hvis en bakterie mangler et bestemt transportprote-

senere kunne vågne igen og skabe en ny infektion.

Resistens er ikke set endnu

En anden fordel ved bakteriociner er, at der på nuværende tidspunkt ikke ses resistens mod dem. Selvom man ved gentagne forsøg har prøvet at inducere resistens mod bakteriociner, er det ikke lykkedes endnu. Årsagen til den manglende resistens er endnu ukendt, men en teori er, at når bakteriocinerne er så kraftfulde og rammer alle bakterier – også dem i dvale – så når bakterierne simpelthen ikke at udvikle resistens.



in for et bestemt antibiotikum, kan det ikke komme ind i cellen.

2. Antibiotika-“pumpe”:

Ligesom transportproteiner kan lukke antibiotika ind i cellen kan de også “pumpe” antibiotika ud af cellen. Hvis en bakterie har et transportprotein, der pumper antibiotikummet ud så snart det kommer ind i cellen, når det ikke at virke og har derfor ingen effekt på bakterien.

3. Enzymer:

Bakterien kan have specifikke enzymer, der kan ødelægge eller ændre antibiotikummet, så det ingen effekt har. Penicillin kan fx blive nedbrudt af enzymet *betalaktamase*.

En anden teori er, at bakterierne ikke kan udveksle resistensgenerne med hinanden, som det er tilfældet ved resistensgenerne for traditionelle antibiotika.

Det estimeres, at der findes langt over 600 forskellige bakteriociner, så det er en kæmpe værktøjskasse, vi foreslår at man begynder at rode igennem for nye behandlingsformer. Faktisk har et bakteriocin været brugt i fødevarer i over 50 år: Nisin er godkendt som tilsætningsmiddel i mad og bliver brugt i fremstillingen af mejeriprodukter. Nisin hæmmer de uønskede mælkesyrebakterier samt nogle sygdomsfremkaldende

bakterier som *Listeria monocytogenes* og *Staphylococcus aureus*.

Hvad med det etiske?

Som en del af projektet gjorde vi os også overvejelser om de videnskabsfilosofiske og forskningsetiske spørgsmål, som projektet naturligt berører, samt hvilken indvirkning det vil kunne få på mennesker og samfund. Forskningsetiske spørgsmål kan fx handle om, hvordan man fremskaffer sine data, hvordan man verificerer og præsenterer data og inden for *life science* (dvs. medicinsk forskning og behandling) især spørgsmålet om kliniske forsøg med mennesker, når et nyt behandlingsmiddel skal testes. Her havde vi bl.a. overvejelser om kravet om, at forsøgspersoner i medicinske forsøg skal afgive det, der kaldes *informeret samtykke*. Men kan et sådant samtykke være fuldstændig informeret, når al information netop ikke er tilgængelig, når man tester et nyudviklet lægemiddel? For os i iGEM har det været en vigtig overvejelse, hvis vi skulle have testet vores produkt på mennesker. Da vi

primært eftertestede andres forskning og samlede det til et produkt, er meget af det testet tidligere af andre forskere. Kombinationen er dog unik, og det kunne potentielt have ledt til uønskede konsekvenser.

Når en forsker – eller aspirerende forsker – skal publicere sin forskning, så gælder det også de metoder, der er brugt, og specifik fremgangsmåde. Det er ikke anderledes i iGEM, hvor vi som slutprodukt leverede en hjemmeside, kaldet en wiki, der gennemgår vores projekt fra start til slut med en detaljeret gennemgang af vores arbejde i laboratoriet. Det er et vigtigt kriterie fra iGEMs side, da de har stort fokus på videnskabelig reproducerbarhed. Derfor opmuntrer iGEM til, at nye projekter tager fat på andre projekters løse ender eller bruger data opnået i andre eksperimenter.

Dette krav om reproducerbarhed betyder, at de metoder, vi benyttede os af, er udførligt beskrevet og ligger frit tilgængeligt på internet-

tet. Det har givet anledning til at overveje et af de mere spektakulære etiske aspekter, nemlig om vores projekt potentielt kan bruges i "ondskabens tjeneste" – fx som våben af terrorister. Selve vores forskningsresultater kan næppe i sig selv anvendes af "bioterrorister", da bakteriociner ikke påvirker humane celler. Men metoden er den samme, hvis man ønskede at klonet et sygdomsfremkaldende gen ind i *E. coli* for at bruge bakterien som våben.

Det illustrerer meget godt, at der er en bagside ved alt – også idealet om, at forskningsresultater skal lægges åbent frem, så andre kan reproducere dem. Muligheden for, at ens forskningsresultater kan misbruges af bioterrorister er således bare et af de vilkår, man som forsker i syntetisk biologi og i en åben verden må forholde sig til. Man kan trøste sig med, at blot ved at være bevidst om risikoen for bioterrorisme, øger man også chancerne for at kunne forsvare sig mod det. ■

Yderlige læsning

SDU-heldets wiki-side:
<http://2016.igem.org/Team:SDU-Denmark>

Muckadell, C. S., 2014. Forskningsetik. I: A. S. Christensen, red. Filosofisk Etik. Århus: Århus Universitetsforlag.

Sönksen, U. W., 2016. Antibiotikaforbrug og -resistens. [Online] <http://www.ssi.dk/smitteberedskab/om%20overvaagning/antibiotikaforbrug.aspx>

Naturvidenskabelige uddannelser SIKRER DIG JOB i fremtiden

På et arbejdsmarked, hvor mange unge kæmper for at finde et job, kan det godt virke tiltalende at vælge et studium, der giver sikkerhed for fast job efter uddannelsen.

I hvert fald viser en prognose fra Ingeniørforeningen IDA og Dansk Industri, at Danmark kommer til at mangle 13.500 ingeniører og naturvidenskabelige kandidater i 2025.

Stigende interesse for naturvidenskab

På SDU kan man godt mærke, at de studerende begynder at vise interesse for de naturvidenskabelige fag.

»Vi oplever stor efterspørgsel på vores kandidater, og det bliver absolut ikke mindre fremover,« siger Martin Zachariasen, som er dekan på Det Naturvidenskabelige Fakultet på SDU, og tilføjer:

»Vælger du en naturvidenskabelig uddannelse, tilegner du dig kompetencer, som er efterspurgt i dag og vil være det i lige så mange år, som det er muligt at se ud i fremtiden.«

Masser af job

Prognosen peger på, at der er behov for næsten 40 procent flere studerende på de naturvidenskabelige uddannelser, så det er svært at komme uden om, at der vil være masser af arbejde at finde, når de studerende er færdiguddannede.

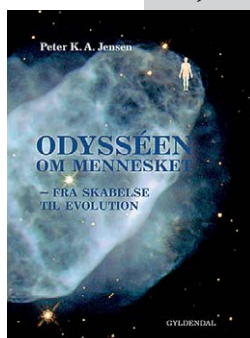
Arbejdsmarkedet skriger på medarbejdere med en naturvidenskabelig baggrund, så der bliver rift om dem, der har læst for eksempel Data-logi, Biomedicin eller Matematik, mener Martin Zachariasen.



BØGER

FAKTA

Peter K.A. Jensen:
Odysseén om mennesket – fra skabelse til evolution.
Gyldendal 2017. 550 sider, 349,95 kr.

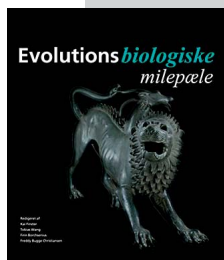


Odysseén om mennesket

Odysse kan både betyde "farlig rejse" og "fantastisk historie". Med det udgangspunkt fortæller Peter K.A. Jensen om de historier, mennesker gennem tiden har fortalt om sig selv, og om de fantastiske forskningspræstationer, der ligger bag de nuværende historier. Bogen kommer tæt på forholdet mellem religion og videnskab, og den kommer ind på de drabelige kampe, lærde har udkæmpet om, hvordan mennesket kan være opstået og have udviklet sig.

FAKTA

Kai Finster, Tobias Wang, Finn Borchsenius og Freddy Bugge Christiansen (reds):
Evolutionsbiologiske milepæle.
Aarhus Universitetsforlag 2016. 240 sider, 249,95 kr.

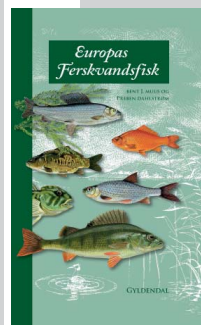


Evolutionsbiologiske milepæle

Livet på Jorden er resultatet af fire milliarder års formålsløs udvikling, hvor noget omdannes til noget andet. Alt levende fortæller en fælles historie, som danner grundlag for udviklingen af den enorme mangfoldighed, der omgiver os og som vi er en del af. Om denne store historie handler *Evolutionsbiologiske milepæle*. I bogens 12 kapitler kan vi alle blive klogere på biologiske emner og evolutionære principper om alt fra livets oprindelse over naturlig selektion, flercellede organismer, hvirveldyr social adfærd og sex til aldring og død.

FAKTA

Bent J. Muus og Preben Dahlstrøm:
Europas Ferskvandsfisk.
Gyldendal 2017. 224 sider, 249,95 kr.

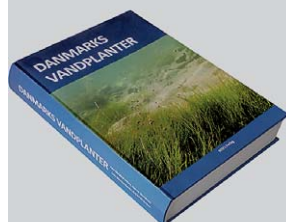


Europas Ferskvandsfisk

I år er det 50 år siden, at denne bog om ferskvandsfisk udkom for første gang. Jubilæet bliver fejret med en genudgivelse af denne håndbog (5. udgave), der beskriver ca. 200 arter af ferskvandsfisk. Her kan enhver med interesse for fisk blive klogere på arternes kendetegn, levevis og udbredelse. Desuden indeholder bogen et afsnit om fiskeriets historie, fiskebiologi og fiskeavl.

FAKTA

Jens Christian Schou, Bjarne Moeslund, Lars Båstrup-Spohr og Kaj Sand-Jensen: *Danmarks Vandplanter.*
BFN's forlag 2017. 560 sider. Pris for



bog og feltnøgle: 400,- kr. Feltnøgle kan købes særskilt for 40,- kr.

Danmarks Vandplanter

Danmarks Vandplanter beskriver i tekst, fotografier og stregtegninger alle kendte danske vandplanter og kransålbølger, samt et stort udvalg af sumplanter, mosser, levermosser og makroalger. Med illustrerede nøgler, mange fotografier, præcise beskrivelser, og udbredelseskort samler bogen den nyeste viden om vandplanter i Danmark. De fortæller om vandområdernes tilstand og udvikling. *Danmarks Vandplanter* er en invitation både til at gå på opdagelse i de danske vande og til at blive klogere på arterne og deres voksesteder for såvel amatører som professionelle botanikere.

Verdensbilledet i forandring

Anmeldt af Bertil Dorch, astronom og bibliotekschef ved SDU

Det er med begrundet forventning at man sætter sig til rette med jubilæumsbogen Verdensbilledet i forandring – et hundredeårigt perspektiv for at pløje sig gennem de seneste 100 år astronomi. Bogen har nemlig ikke mindre end 29 forfattere, der blandt andre tæller nogle af de fremmeste danske astronomer. Men mindre kan heller ikke gøre det, når det astronomiske regnskab over det sidste århundrede skal gøres op i anledning af dansk Astronomisk Selskab i 2016 kunne fejre 100 års jubilæum.

Bogen kan karakteriseres som en populærvidenskabelig antologi, der gennem 12 kapitler leder læseren gennem basal astronomi, henover de klassiske emner som solsystemet, sol, stjernerne, galakser osv. til grundstoffernes oprindelse i Big Bang og supernova. Det er selvfølgelig på sin plads, at bogen også dedikerer kapitler til nogle af de emner, der har fyldt mest de seneste par årtier – men som stor set ikke eksisterede i den kollektive astronomiske bevidsthed for 100 år siden. Det gælder de grene af kosmologien, der beskæftiger sig med mørkt stof og mørk energi – og så selvfølgelig forskningen i exoplaneter.

Velegnet til kaffebordet

Også fysisk er der tale om en stor bog, der nok vil kunne springe rammerne for en skoletaske, for ikke at sige lommepenge-budgettet. Ikke desto mindre sigter Forlaget Epsilons udgivelse af bogen mod, at den vil kunne finde »anvendelse i undervisningssammenhænge i gymnasiet og læses af folk med almen astronomisk interesse«, som man kan læse på Astronomisk Selskabs hjemmeside. Jeg vil dog antage, at Verdensbilledet i forandring formentlig finder sin bedste

placering på kaffebordet og sin største fanskare hos de på forhånd astronomi-interesserede læsere og kendere. Som de fleste populærvidenskabelige astronomibøger indeholder bogen i sagens natur fantastiske flotte og tankeinspirerende fotografiske gengivelser, men også illustrative grafer, figurer og enkelte simple ligninger. Om end de er elementære, så kunne de få ligninger dog udmærket have været udeladt, da de næppe bidrager nævneværdigt til formidlingen af stoffet for de fleste i bogens målgruppe.

I tilgift til de 12 egentlige kapitler indeholder bogen også 7 appendikser, hvoraf nogle forekommer lidt overflødige. Her kunne man måske i stedet have anvendt pladsen til at uddybe enkelte emner via eksempler, evt. på at forklare ovennævnte ligninger.

Autentisk indblik i videnskabens verden

Bogen har haft hele tre redaktører til at styre de mange bidragydere, og man kunne fristes til at sige, at det måske nok også er mindst tre verdensbilleder, der afspejler sig i den stil hvormed læseren indføres i de forskellige emner. Både fortællestil og tekstopbygning varierer en hel del fra kapitel til kapitel. Det har givetvis mindre betydning, hvis man udelukkende er interesseret i enkelte emner og går målrettet efter dem. Men det giver en noget uensartet læseoplevelse, hvis man giver sig i kast med at læse Verdensbilledet i forandring fra begyndelsen til enden. Indtrykket kan sammenlignes med den typiske videnskabelig konference, hvor en række foredragsholdere causerer over forskellige emner. Tilhørersens opmærksomhed svinger som et produkt af interessen for det givne emne og oplægholderens passion og formidlingsmæssige kvalifikati-

FAKTA

Lone Bruun, Johan Peter Uldall Fynbo, Michael Quaade,

Nicolai Vestergaard-Hansen (red): Verdensbilledet i forandring - et hundredeårigt perspektiv. Forlaget Epsilon 2016. 224 sider, 325,- kr.



oner. På den måde giver bogen på sin vis også et meget autentisk indblik i den videnskabelige verden.

Forfatterlisten skorter dog ikke på fremragende formidlere, uanset hvilke særlige områder indenfor astronomien, læseren måtte interessere sig for. Så læsere kan se frem til gode læseoplevelser.

Must-have for enhver astronomiinteresseret

For en ordens skyld må jeg som anmelder hellere deklarere, at selvom der er tilstræbt objektivitet i anmeldelsen her, så tæller bogens forfattere både yngre forskere, som jeg har haft den fornøjelse at undervise, seniorforskere, som jeg har modtaget inspirerende undervisning af samt tidligere kollegaer, som jeg har arbejdet sammen med. Men sådan må det være, når astronomerne i relativt lille land stiller op for at fortælle om den hundredeårige rejse gennem det astronomiske verdensbilledet i forandring, som dansk forskning har været en del af.

Alt i alt er "Verdensbilledet i forandring" et must-have for enhver astronomiinteresseret, der vil være opdateret på det astronomiske verdensbillede. Bogen minder os om, hvor langt vi er kommet de sidste hundrede år, hvor den astronomiske forskning har leveret »en næsten endeløs række af overraskelser«. Efter alt at dømmes vil det fortsætte ufortrødent de næste 100 år. ■

ERKENDELSE VED HJÆLP AF HIERARKISKE MODELLER

Filosoffen Immanuel Kants erkendelsesmodel har haft stor betydning for det naturvidenskabelige verdensbillede. Ved hjælp af såkaldt hierarkiske modeller er det nu muligt at anvende Kants erkendelsesmodel direkte på konkrete videnskabelige problemstillinger.

Om forfatteren



Christian Frølund Damgaard er professor, dr. scient. Han arbejder med plantepopulationsbiologi og den matematiske og statistiske modellering af planteøkologiske processer. Inst. for Bioscience, Aarhus Universitet cfd@bios.au.dk

Sammenhængen mellem verden og en person, som betragter verden, har siden oplysningstiden været et af den vestlige filosofis vigtigste emner og fundamentet under vores naturvidenskabelige tilgang til at undersøge verden. Sammenhængen kan groft karakteriseres ved de to yderpoler af tænkningen: Verden eksisterer kun i betragterens bevidsthed (idealisme) eller verden eksisterer fint, uden at nogen intelligent og bevidst skabning behøver at betragte den (realisme).

Den første til for alvor at løse op mellem disse to yderpoler på en frugtbar måde var Kant i hans *Kritik af den rene fornuft*. Kant indførte i dette hovedværk de centrale begreber og sammenhænge, som beskriver, hvordan vi sanser og erkender verden og som stadigvæk giver god mening i dag. Kort beskrevet, er der en fundamental splittelse mellem en verden af fænomener ("Das ding an sich") og betragteren. Betragteren erkender et fænomen ved hjælp af



Immanuel Kant (1724 – 1804).

nogle mentale hjælperedskaber, som betragteren har adgang til, før den konkrete sansning indtræffer (*a priori* viden), fx at verden eksisterer i et 3-dimensionelt rum, samt at kausale hændelser foregår i tid. Derudover har vi i sproget adgang til et stort begrebsapparat, som anvendes til at kategorisere det specifikke fænomen i en almen kategori. Fx bliver synsindtrykket af en stol automatisk i bevidstheden knyttet til begrebet "stol", som er en abstrakt

a priori form, som vi har indlært under vores opvækst og sansning af forskellige fænomener, som alle har det tilfælles, at begrebet "stol" giver mening. I bevidstheden udløser sansningen altså en kobling mellem den specifikke sansning og betragterens almene begrebsapparat og *a priori* viden, og vi har opnået en ny empirisk viden om det specifikke fænomen (*a posteriori* viden). Kant taler om, at fænomenet er transcenderet fra verden ind i betragterens erkendelse.

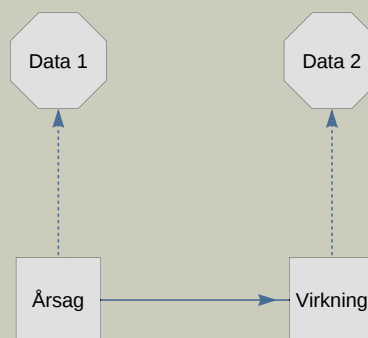
Kants erkendelsesmodel i anvendelse

Kants erkendelsesmodel giver som sagt stadigvæk god mening i dag og er mere eller mindre indoptaget i det, man kan kalde *sund fornuft*. Fx anvendes begreberne subjektiv og objektiv i det daglige sprog med et klart ophæng i Kants erkendelsesmodel. Således anvendes Kants erkendelsesmodel dermed indirekte i den videnskabelige proces, uden at den enkelte forsker nødvendigvis er bevidst om, at Kants erkendelsesmodel ligger til grund for den sunde fornuft,

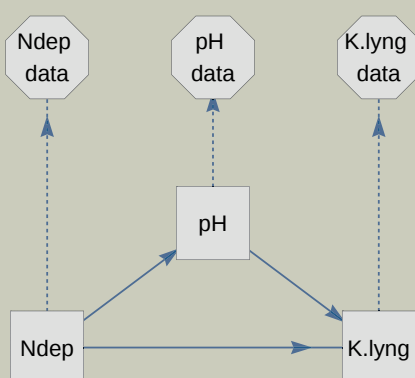
Princippet i en hierarkisk model

A priori viden bruges til at formulere forskellige abstrakte begreber (kvadrater), som man vil undersøge, og arbejds-hypoteser om kausale sammenhænge mellem begreberne formuleres i procesligningen (fuld pil). Begreberne knyttes til observerede data ved hjælp af måleligninger (stiplede pile).

I mere teknisk sprog fittes modellen til data ved hjælp af Bayesiansk statistik, hvor hver enkelt pil i figuren kan betragtes som en betinget sandsynlighed. Modellen kan derefter opskrives i en samlet likelihood-funktion ved hjælp af antagelser om betinget uafhængighed og fittes ved numeriske metoder.



Modellering af klokkeling



Afbrænding af fossilt brændstof og husdyrhold medfører en lokal og regional deposition af kvælstof på naturområder, som forventes at påvirke både jordens pH samt vegetationen. Ved hjælp af luftmodeller er det muligt at beregne den forventede kvælstofdeposition på et naturområde, og hvis disse kobles med indsamlede data om jordkemi og vegetation er det muligt at opstille og estimere en konceptuel model af kvælstofdepositionens effekt på pH og vegetationen.

I det viste eksempel har vi undersøgt effekten af både kvælstofdeposition og jordens pH på dækningen af klokkeling på de våde heder. Middelværdien af kvælstofdepositionen (Ndep), jordens pH, og dækningen af klokkeling modelleres som såkaldt latente variable (kvadrater), hvilket er variable i modellen som ikke måles direkte. De *a priori* bestemte kausale sammenhænge er vist som fulde pile. De latente variable knyttes til data (oktagoner) ved hjælp af målelig-

ninger (stiplede pile). Man ved, at forskellige datatyper har forskellige statistiske fordelinger, og denne viden kan udnyttes direkte i hierarkiske modeller: Fx blev pH antaget at være normalfordelt, mens dækningen af klokkeling blev antaget at være betabinomial-fordelt. Modellen viste, at der var en statistisk signifikant negativ effekt af både kvælstofdeposition og en sur jordbund på dækningen af klokkeling, men at kvælstofdeposition ikke kunne forklare den målte pH i jorden.

der styrer det daglige vidensarbejde. Kants erkendelsesmodel er generel og kan anvendes på alle typer af erkendelse. Måske af nødvendighed for at sikre denne universalitet var Kant overordentlig verbal, og hans hovedværk er ikke nemt tilgængelig for fx naturvidenskabelige forskere, som typisk må ty til fagfilosoffers udlægning af teksten. Der skal fx nok være fagfilosoffer, som vil ryste på hovedet af ovenstående korte frem-

stilling af Kants erkendelsesmodel. Denne utilgængelighed er en skam, for hvis Kants erkendelsesmodel er relevant, må den kunne udnyttes direkte i forskningen i stedet for indirekte gennem forskerens almindelige og udokumenterede sunde fornuft, som sikkert varierer betydeligt fra forsker til forsker.

Det ville derfor være en fordel, hvis man havde en præcis og nem

tilgængelig version af Kants erkendelsesmodel, som man konkret kunne anvende på videnskabelige problemstillinger. Det viser sig, at det har vi allerede, uden at mange forskere rigtig er bevidste om det: *hierarkisk modellering*.

Proces- og måleligninger

Hierarkiske modeller består af to dele: En *procesligning*, som kan li-gestilles med Kants almene *a priori*

Ludwig Wittgenstein og hierarkiske modeller

Det er værd at bemærke, at hierarkiske modeller allerede kan føres tilbage til den yngre Ludwig Wittgensteins bog *Tractatus Logico-Philosophicus* fra 1921. Den yngre Wittgenstein var som elev af matematikeren, filosofen og logikeren Bertrand Russell interesseret i en matematisk formulering af den logiske tankeproces, og i hans bog opstiller han en række ordnede og nummererede synspunkter, som beskriver, hvordan man kan anvende billeder til at erkende verden. Hvis man læser bogen med hierarkiske modeller i baghovedet, er det forbløffende, hvor mange af Wittgensteins synspunkter, som giver mening i en hierarkisk modelsammenhæng. Fx kan synspunkt 2.15 næsten læses som en definition af hierarkiske modeller:

»That the elements of the picture are combined with one another



Foto: Österreichische Nationalbibliothek

in a definite way, represents that the things are so combined with one another. This connexion of the elements of the picture is called its structure, and the possibility of this structure is called the form of

representation of the picture.«

Den abstrakt matematisk tænkende Wittgenstein må næsten have haft den grafiske model af hierarkiske modeller i hovedet, da han skrev *Tractatus Logico-Philosophicus*, men var ikke opmærksom på den praktiske anvendelse af modellen. *Tractatus Logico-Philosophicus* er desværre generelt opfattet som værende både mystisk og utilgængelig for ikke-fagfilosoffer. Det er således kun det sidste synspunkt 7: »Whereof one cannot speak, thereof one must be silent.« som er kendt uden for fagkredse.

Jeg vil opfordre interesserede til at læse den dybt interessante bog med hierarkiske modeller i baghovedet. Måske er der endda noget at hente for den, som undersøger fænomener, der ikke nemt kan måles eller vejes?

Kilder:

Østergaard, C. B. (2009) Kants kritik af den rene fornuft, Informations Forlag.

Pearl, J. (2009). Causality. Cambridge University Press.

Wittgenstein, L. (1921) *Tractatus Logico-Philosophicus*.

Damgaard C., Strandberg M.T., Kristiansen S.M., Nielsen K.E. and Bak J.L. 2014. Is Erica tetralix abundance on wet heathlands controlled by nitrogen deposition or soil acidification? *Environmental Pollution* 184: 1-8.

viden om kausale sammenhænge, og en terminologi, som beskriver de undersøgte fænomener eller begreber, samt en *måleligning*, som knytter de almene begreber til empiriske målinger eller observationer. I en hierarkisk modeltilgang opskriver man således sin almene og generelle *a priori* viden og opnår en konkret *a posterior* viden om et specifikt fænomen ved hjælp af data, som måler (Kant ville sige sanser) relevante aspekter af den undersøgte genstand. Til at modellere fx et økosystem indgår der typisk adskillige proces- og måleligninger.

Hierarkiske modeller er blevet udviklet uafhængigt i forskellige videnskabsgrene, og der eksisterer adskillige synonyme for modeltypen, men fælles for dem alle er, at de anvender grafteori til at præsentere den videnskabelige problemstilling.

Det er vigtigt at understrege, at *a priori* viden om de kausale sammenhænge i procesligningen kun

er en arbejdshypotese og bør testes statistisk samt ved anvendelse af supplerende manipulerede forsøg. I denne sammenhæng er det interessant, at Kant var enig med den skotske filosof David Hume i, at man ikke kan deducere kausale sammenhænge ud fra observerede data. Men Kant kritiserer Hume for ikke at have tænkt langt nok. Opstilling af kausale sammenhænge kræver, ifølge Kant, også tænkning – ren sansning er ikke tilstrækkelig.

Ligesom man gennem sin opvækst får erfaring om verden og fx lærer at afgrænse begrebet ”stol” fra fx ”taburet”, kan man bruge hierarkiske modeller til at opdatere og forfine sin *a priori* viden ved at anvende modellen på indsamlede data. Denne opdaterede viden kan derefter anvendes i analysen af nye data.

Lettere at arbejde med

En betydelig fordel ved de hierarkiske modeller er endvidere, at det er muligt at adskille den

statistiske varians, som skyldes måleusikkerhed, fra den varians, som skyldes strukturel uvidenhed om de modellerede processer. Det åbner op for at lave forudsigelser, hvor den strukturelle usikkerhed i forudsigelsen kan kvantificeres, hvilket er en af grundene til, at hierarkiske modeller i stigende grad bliver brugt i anvendt forskning, hvor det er vigtigt at kunne kvantificere usikkerheden af opstillede prognoser.

Hierarkiske modeller bliver i disse år i stigende grad anvendt til at modellere videnskabelige problemstillinger, fx indenfor miljø- og økonomisk forskning. Samtidig bliver det stadig lettere at arbejde med disse modeller, da der er ved at blive udviklet gratis software, som gør det muligt for også ikke-specialister at anvende disse modeltyper (fx R-INLA). Derfor vil jeg opfordre alle, som arbejder kvantitativt videnskabeligt til at kigge nærmere på denne analysemetode. ■

Tilbud til dit gymnasium

Vi tilbyder nu en særlig abonnementsordning på bladet Aktuel Naturvidenskab til gymnasier og HTX.

Du kan vælge imellem tre pakkestørrelser:

Gymnasieabonnement:

Antal blade i pakken:	20	40	60	eksemplarer
Pris eksklusiv moms:	475	725	975	kr.
(omfatter 6 numre/udgivelser pr. år.)				

Den lave pris er mulig i en periode* i forbindelse med et udviklingsprojekt, som VILLUM FONDEN støtter.

Nye undervisningsmaterialer

På hjemmesiden aktuelnaturvidenskab.dk finder du nye undervisningsmaterialer. De nye materialer er udarbejdet af Anne Becher fra Vesthimmerlands gymnasium og HF på nær arbejdsopgøvelserne til *Sukkerets værdifulde binding*, der er udarbejdet af Sarah Ward og Thomas Bue Søndergaard Andersen fra Århus Statsgymnasium.

Faglig læsning af naturvidenskabelige artikler

Her får du en skabelon, som kan anvendes til målrettet faglig læsning af artikler fra Aktuel Naturvidenskab. Skabelonen kan anvendes på alle niveauer. Man kan både arbejde med artikler som elevernes forberedelse derhjemme (især på A og B-niveauer) eller som gruppearbejde i timerne. Der er vedlagt to eksempler, som er anvendt i biologi.

Lærervejledning og forløb til undervisningsmateriale om vitaminer

Dette tema kan anvendes på alle niveauer i kemi-undervisningen på gymnasiet. Det fremgår, hvilke artikler fra Aktuel Naturvidenskab man kan inddrage og, hvilke forsøg man kan udføre. Forsøgene har forskellige sværhedsgrader. Der er desuden forslag til artikler fra andre magasiner, som man kan inddrage, samt eksempler på opgaveformuleringer. Temaet kan indgå i den almindelige undervisning eller anvendes i forbindelse med selvstændige elevopgaver.

Hvor mange mennesker kan Livø brødføde?

Et eksempel på en konkret opgave, som har været anvendt som en del af et tema om landbrug i nv (biologi og geografi), hvor der indgik en tur på Livø. Opgaven er baseret på artiklen Kunsten at brødføde verdens befolkning fra. Aktuel Naturvidenskab nr. 5/2010.

Arbejdsspørgsmål til Sukkerets værdifulde binding

Artiklen bragt i nr. 6/2016 handler om kunsten at syntetisere oligosakkarider i laboratoriet. Artiklen kan sammen med arbejdsspørgsmålene indgå i undervisningen i kemi A eller bioteknologi A.

Nye quizzer i opdateret indpakning

Vores quiz-app på hjemmesiden har fået en overhaling, så den både er sjovere og mere brugervenlig. Prøv fx vores nye quizzer om robotteleskopet SONG og mobilantenner.

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



Abonnementsservice

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

Kontakt abonnementservice på

Telefon: 70 25 55 12

Mandag-torsdag kl. 8-16, fredag kl. 8-14.

aktuelnaturvidenskab@abo-service.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.

Nyhedsbrev

Tilmeld dig det elektroniske nyhedsbrev og få nyt om Aktuel Naturvidenskab i din mailboks. Tilmeld dig via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Mød os på Facebook.com/aktuelnaturvidenskab

Udlængsel og CV

Af Svend Thaning, SCIENCE Kommunikation, Københavns Universitet



Foto: Mads Hashiba Jensen

For at komme godt hjem, må man rejse ud», skrev forfatteren Johannes V. Jensen for lidt over 100 år siden om sin store rejselyst til dengang fjerne lande som USA og Japan. Et mundheld, som vi senere efterlevede i min generation i 1970'erne. Vi skulle alle ud at rejse efter gymnasiet, hvad enten turen gik til det mystiske Indien eller som i mit eget tilfælde til Latinamerika, hvor de afdøde helte – Che Guevara i Bolivia og Augusto Sandino i Nicaragua – var tidens revolutionære ikoner.

Dengang hed det ikke et fjumreår, men en dannelsesrejse, som man bare skulle ud på i Johannes V's fodspor. Faktisk var det lidt af en falliterklæring at gå den direkte vej fra gymnasiet og så på universitetet eller på en anden højere læreanstalt, når verden lå åben for én og bare ventede på at blive erobret. En højere uddannelse kunne man altid tage. Valgmulighederne var mange samtidig med, at man ikke skulle have topkarakterer for at komme ind på mange uddannelser.

Fra jordskælv til rullekuffertløb

Nu er tiden en anden. Kravene til karakterer er blevet betydeligt skærpet, og studierne

skal mere eller mindre gennemføres til tiden. Det virker ikke nødvendigvis befordrende på rejselysten, hvilket fx kan ses af, at rejselysten blandt studerende på Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, SCIENCE, her på KU har været faldende pga. af bl.a. studie-fremdriftsreformen. Men nu begynder tallene og rejselysten at stige igen. Og hvis man loddede stemningen blandt 62 studerende på SCIENCE, som mødtes forleden til debriefing og deling af studie- og rejseoplevelser efter et halvt år i det fremmede, så var rejselysten stor. Der manglede ikke sjove historier og store personlige oplevelser blandt de unge udvekslingsstuderende, som havde læst og boet i store dele verden. Lige fra Seoul i Sydkorea til Alaska i USA, over Uppsala i Sverige og til Sydney i Australien.

En studerende havde oplevet præsidentvalgkampagnen i USA på tæt hold, en anden havde oplevet jordskælv og minipingviner i New Zealand, en tredje havde tøffet til Lapland på scooter og kigget på rener, en fjerde måtte trække i obligatorisk skoleuniform i Thailand og oplevede landesorg, da den elskede thailandske konge døde, mens en femte

studerende var tilskuer til rullekuffertløb i den belgiske universitetsby Leuven, når alle studiekammeraterne op til weekenden hastede hjem til familien og efterlod universitetet tomt.

Selvrealisering og jobmuligheder

Der var engang, hvor mange som jeg rejste for at realisere sig selv i fremmede omgivelser og få menneskelige erfaringer med hjem – uden tanke om jobmuligheder og studier bagefter. Det er der en del unge, som stadig gør efter gymnasiet. Men hvis man også har øje på cv'et er det langt fra en tosset ide at rejse ud. For det batter, når man senere skal søge job: Ifølge Undervisningsministeriet anser over 70 % af danske virksomheder internationalt udsyn og interkulturel forståelse som meget vigtige eller vigtige egenskaber, når de rekrutterer nyuddannede fra en videregående uddannelse. Og så kan man oven i købet få delvis økonomisk støtte til sin udlængsel fra bl.a. EU, Nordisk Ministerråd samt fra private fonde og legater. Så hvorfor blive hjemme fremfor at krydre sit studium med et udlandsophold, der både fagligt og personligt gør én klar til en stadig mere globaliseret verden. ■