

Aktuel NATURVIDENSKAB

1 | MARTS | 2014

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00

Termoelektriske materialer

Ålens mysterier under lup

Antioxidanter – hvorfor er de sunde?

Nanotråde overalt

Avis-and dækker over reelt problem

En række misvisende mediehistorier om de danske universitetsuddannelser har desværre forplumret debatten om et vigtigt spørgsmål: Hvordan sikrer vi et bedre match mellem dimittenderne og arbejdsmarkedet?



Af Lia Leffland,
akademidirektør,
Akademiet for de Tekniske
Videnskaber (ATV),
ll@atv.dk

Videre læsning:

Se Akkrediteringsrådets notat her: <http://akkr.dk/2014/ny-analyse-om-aftagerinvolvering/>

Oprindelig avisartikel i Berlingske: www.b.dk/nationalt/uddannelser-faar-dumpekarakter-i-jobrelevans

SYNSPUNKT

Der er udfordringer i det danske uddannelsessystem. En af dem er, at dimittenderne fra nogle universitetsuddannelser sendes ud på et arbejdsmarked, hvor der reelt ikke er behov for deres kompetencer.

Problemerne skal bare ikke blæses ud af proportioner. Og det var desværre, hvad der skete, da flere medier i fornyligt præsenterede det, journalister kalder "en god historie". Med afsæt i en ny rapport konkluderede en række forskellige artikler, at næsten halvdelen af universitetsuddannelserne ikke har tilstrækkelig jobrelevans.

Men i virkeligheden er der tale om en avis-and, altså en usand historie, som har fundet vej til spalterne. Artiklerne baserede sig på et notat fra Danmarks Akkrediteringsinstitution, ACE. Rapporten analyserer bl.a. antallet af møder i de såkaldte aftagerpaneler, mens den kun indirekte forholder sig til spørgsmålet om jobrelevans. Notatet fortæller, at nogle universitetsuddannelser bør gøre mere for at være i dialog med deres aftagere på arbejdsmarkedet, men mere kan konklusionen fra notatet altså ikke bære.

Det er naturligvis en god pointe, at aftagerpanelerne skal bruges konstruktivt og aktivt til at give input til universiteterne. Men argumentationen kan ikke vendes rundt. Altså, man kan ikke konkludere, at de uddannelser, der ikke har en tilstrækkelig dialog med aftagerpanelerne, ikke er relevante for arbejdsmarkedet. Der er en hel palette af andre samarbejdsflader med direkte kontakt mellem universiteter og aftagere.

Fejlagtig præmis – reelle udfordringer

Det undrer mig, hvordan de misvisende historier kan opstå. Jeg har selv hentet ACE-rapporten på nettet, den var nem at finde, er let læst og relativt nem at forstå. Måske er der gået "Christiansborg" i den? Sådan at en rapportering med et snævert fokus blæses op til meget mere, end den kan bære. Den får sit eget liv, hvor alle jagter nye vinkler på den samme skæve historie, og hvor politikere svarer på spørgsmål ud fra en grundlæggende fejlagtig præmis.

Hele historien må give anledning til selvransagelse hos medierne (undtagen dagbladet Information, der gennemskuede tingenes rette sammenhæng og skrev en glimrende og korrekt artikel om ACE-undersøgelsen). Avis-anden er så meget desto mere ærgerlig,

fordi uddannelsernes arbejdsmarkedsrelevans er et vigtigt emne.

Der er nemlig reelle udfordringer på området. Det er en dårlig ide for samfundet, for erhvervslivet og for de unge selv at uddanne til arbejdsløshed.

Man bør vurdere, om dimittenderne finder arbejde inden for deres uddannelsesområde, og om deres indkomst modsvarer uddannelsesniveaueet. Hvis man fx tager en lang universitetsuddannelse, men arbejder i et HK-job, hænger tingene ikke sammen. Den unges talent kommer måske slet ikke til udfoldelse på arbejdsmarkedet, og folk med kortere uddannelser risikerer at blive skubbet ud af arbejdsmarkedet.

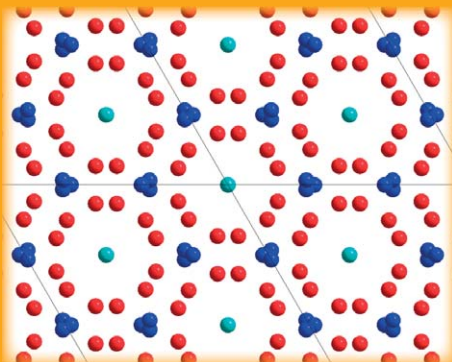
Tingene er ikke sort-hvide. Hvis man efter endt uddannelse får job på et helt andet felt end det, man er uddannet til, behøver det ikke være et problem. Det kan være udtryk for "det muliges kunst" og for, at man har haft et åbent sind i jobsøgningen – med andre ord, at man er fleksibel, tilpasser sig de faktiske forhold på arbejdsmarkedet og kan se de spændende muligheder ved at tænke ud boksen. Men for samfundet som helhed er det ikke smart, hvis der uddannes et stort antal dimittender inden for et område, hvor der ikke er tilstrækkelig brug for deres viden og kompetencer. Især ikke hvis der er mangel på veluddannede unge på andre områder.

Uddannelsernes relevans

Det er ikke nogen let opgave at måle, om en uddannelse fortjener en "bestået"-karakter. Men man kan for eksempel undersøge faktorer som dimittendledighed, beskæftigelsesgrad, jobtype, antal og længde af ledighedsperioder, antal aktive år på arbejdsmarkedet og lønnens størrelse. Sidstnævnte fortæller indirekte, i hvor høj grad den enkelte medarbejder skaber værdi for sin arbejdsplads. Sådanne parametre vil fortælle langt mere om jobrelevans end antallet af møder i et aftagerpanel.

Regeringen har nedsat et kvalitetsudvalg, der gransker området, og også ATV vil snart komme med et udspil, der kan være med til at få flere fakta på bordet. For det er vigtigt for både samfundet og den enkelte studerende at have et klart billede af, hvilke uddannelser der "præsterer" bedst. ■

Note: Synspunktet er baseret på et blogindlæg af forfatteren bragt på ing.dk



16

Termoelektriske materialer

Med termoelektriske materialer kan man høste elektricitet ud af spildvarme eller lave tynde, kompakte kølemodule til fx computere og elektronik. Sådanne materialer kan få en stor rolle i fremtidens teknologi, hvis materialerne kan gøres mere effektive og billige. Og vi er godt på vej.

24

Hvorfor er antioxidanter sunde?

Antioxidanter fra frugt og grønt er godt for vores helbred. At disse stoffer er gavnlige, skyldes dog måske slet ikke, at de virker som antioxidanter. De har nemlig andre egenskaber, som kan forklare deres gavnlige effekt.



Indhold

FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
Smeltevand giver et særegent liv i Nuup Kangerlua . . .	8
En verden med nanotråde.....	12
Termoelektriske materialer	16
Genindvinding af sølv baner vejen for plastsolceller. .	22
Hvorfor er antioxidanter sunde?	24
Kinesisk malurt – en medicinplante med potentiale .	29
En grønnere opdrætsfisk – om matematik, tørring og fiskefoder	34
Den truede ål under lup.	38

PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: Avis-and dækker over reelt problem.	2
Forskning på tværs af faggrænser	44
Boganmeldelse: Det molekylære køkken.	49
Bagsiden: På fotojagt efter leoparder	52



38

Den truede ål under lup

Ålen er lidt af et mysterium for forskerne. På trods af en ihærdig indsats er der stadig meget, vi ikke ved om denne værdifulde og kritisk truede fisks biologi. Et nyt togt til Sargassohavet skal nu være med til at udfylde hullerne i vores viden.

Dårlig mad kan opdages langt tidligere

Hvert år bliver tusindvis af danskere ramt af dårlig mave efter, at de har sat tænderne i mad, som har indeholdt sundhedsskadelige bakterier som salmonella eller listeria. Nu har forskere fra Mads Clausen Institutet på Syddansk Universitet udviklet en bakteriescanner, som kan være med til at forhindre, at sundhedsskadelige fødevarer når forbrugerne.

Mange kunne nemlig undgå at få ondt i maven af dårlig mad, hvis fødevarer virksomhederne hurtigere opdagede de farlige bakterier. Den nye scanners styrke er derfor, at den hurtigt slår alarm ude på fødevarer virksomhederne, hvis der har sneget sig uønskede bakterier ind i maden.

»Forbrugerne efterspørger friske fødevarer, og fødevarer virksomhederne leverer varerne så hurtigt de kan. Det er ofte inden, at de har fået svar på prøverne fra deres egenkontrol. Derfor ser vi jævnligt butikker til bagekalde mad, som allerede er blevet solgt til forbrugerne. Det er et stort tillidstab mellem butikkerne og forbrugerne hver gang det sker«, siger adjunkt James Hoyland.

Alle fødevarer virksomheder skal i dag have et egenkontrolprogram, som sikrer, at virksomhedens produkter ikke udgør en sundhedsrisiko. Det indebærer også, at der tages stikprøver af fødevarerne, som sendes til et godkendt laboratorium for at blive tjekket for skadelige bakterier. Analysen tager oftest 2-5 dage. Men den nye bakteriescanner

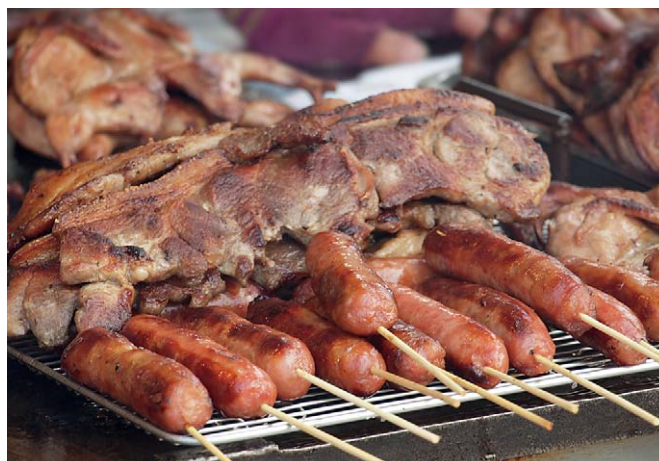


Foto: Colourbox

kan sættes ind et sted i madproduktionen, hvor fødevarerne i forvejen transporteres videre på transportbåndet. Scanneren udløser en alarm et splitsekund efter, at salmonella, *E. coli* eller listeria er fundet.

»Det virker ved, at væsker flyder gennem porte, hvor der sidder nogle chips, som teknologien er komprimeret ned i. Laserlys lyser ned på den løbende væske og de uønskede bakterier, som systemet er indstillet til at finde, lyser op i mængden«, forklarer James Hoyland.

I test har scanneren med succes undersøgt op til 20.000 celler pr. sekund. Og det er muligt at indstille overvågningssystemet sådan, at de enkelte uønskede bakterier lyser op i hver sin farve. For eksempel har salmonella-bakterien lyst rød i forskernes test.

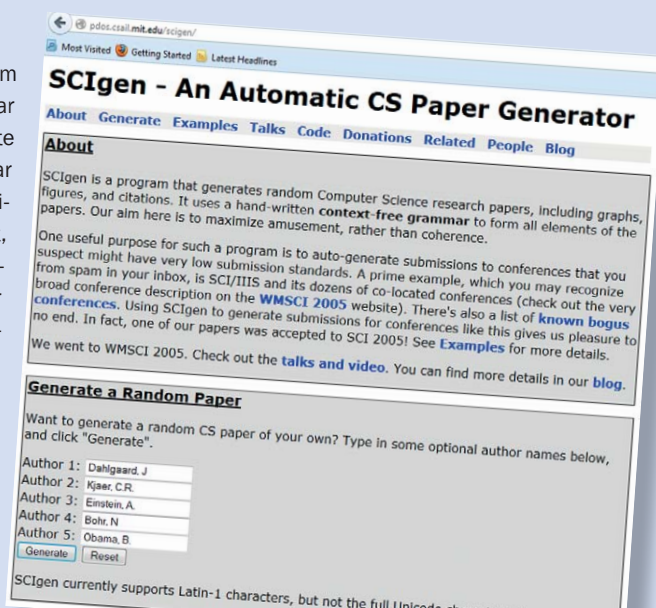
Af Mette Christina Møller Andersen, SDU

Mange fupartikler i omløb

Videnskabeligt snyd kan antage mange former, og det kan i sagens natur være svært at opdage alle tilfælde. Man skulle dog tro, at chancen for, at deciderede nonsensartikler kan passere gennem et fagligt kvalitetssikringssystem, er ret lille. Og så alligevel... Den franske datalog Cyril Labbé fra Joseph Fourier Universitetet i Grenoble har ved en nøje analyse af artikler fra videnskabelige konferencer i perioden 2008 til 2013 opdaget ikke mindre end 120 artikler, der er blevet genereret af computerprogrammet SCiGen. Dette program laver falske datalogi-artikler ved at kombinere tilfældige sætninger, og det blev udviklet af forskere ved MIT i USA i 2005 med det formål at bevise, at man kunne få videnskabelige konferencer til at acceptere bidrag, som var rent nonsens. En pointe, som forskerne må siges at have fået ret i. De 120 konferencebidrag, som Labbé har afsløret som produkter af SCiGen, er udgivet på hæderkronede forlag – Springer i Tyskland og Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), i New York, og de bliver nu alle trukket tilbage.

De fleste af de konferencer, som de falske artikler er knyttet til, har været afholdt i Kina, og de fleste af de forfattere, der optræder, har også tilknytning til kinesiske institutioner. Men det står ikke klart, om de nævnte forfattere overhovedet er klar over, at de optræder på de respektive artikler. I forsøget på at dykke ned i sagen lykkedes det tidsskriftet *Nature* at få kontakt med en af de navngivne forfattere, der angiveligt ikke var klar over, at han optrådte på en nonsensartikel.

Tilbage i 2010 producerede Labbé i øvrigt selv som et eksperiment 102 falske artikler med SCiGen under et fiktivt forskernavn, Ike Antkare. Han viste, hvor nemt det var at få disse artikler optaget i Google Scholar databasen, og gøre den fiktive forfatter til verdens 21. meste citerede forsker på det pågældende tidspunkt.



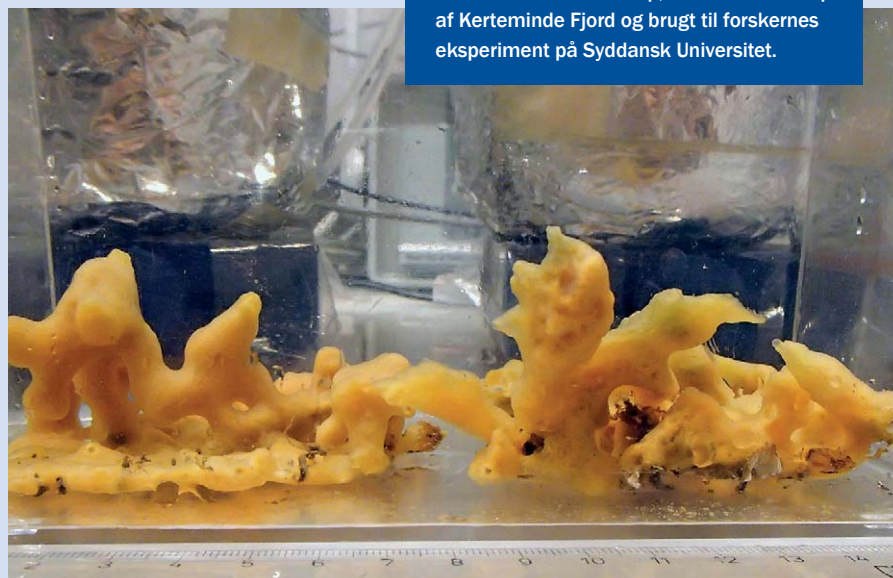
På hjemmesiden <http://pdos.csail.mit.edu/scigen> kan enhver lave sin egen videnskabelige fupartikel med SCiGen.

CRK, Kilde: *Nature* doi:10.1038/nature.2014.14763

Havsvamp på iltidiæt

En lille havsvamp fisket op af Kerteminde Fjord kan overleve og vokse ved et iltniveau på kun 0,5 % af iltindholdet i atmosfæren i dag. Det viser studier af Daniel Mills fra Nordic Center for Earth Evolution på Syddansk Universitet, der sammen med internationale kolleger netop har offentliggjort resultaterne i tidsskriftet *PNAS*. At en kompleks organisme som en havsvamp er i stand til at leve ved så lave ilt-niveauer, kan få konsekvenser for vores forestillinger om udviklingen af dyr på Jorden. Hidtil har det været et dogme, at dyr først kunne udvikle sig, da iltindholdet i atmosfæren steg markant – og de to begivenheder ser da også umiddelbart ud til at være sammenfaldende i Jordens historie. Derfor har man antaget, at et højt iltniveau har været forudsætningen for, at dyr har kunnet udvikle sig.

Men der er meget få undersøgelser af, hvor lidt ilt dyr faktisk kan klare sig med. Og det har været forskernes udgangspunkt for at studere den lille havsvamp *Halichondria panicea*, der lever få meter fra Syddansk Universitets Marinebiologiske Forskningsstation i Kerteminde, hvor forskerne hentede deres forsøgseksemplarer.



Det var denne havsvamp, der blev hentet op af Kerteminde Fjord og brugt til forskernes eksperiment på Syddansk Universitet.

Foto: Daniel Mills/SDU

Grunden til interessen for netop havsvampe er, at det er de nulevende organismer, der minder mest om de første dyr på Jorden. Og nu har det altså vist sig, at denne havsvamp kan klare sig ved så lave ilt-niveauer, at det giver anledning til at genoverveje, hvilke økologiske og udviklingsmæssige mekanismer, der har været på

spil, da dyrene opstod. For hvis det ikke var ilt, der startede udviklingen af dyr, hvad var det så? Og hvorfor skete udviklingen ikke tidligere, hvis ilt ikke har været en så afgørende faktor, som man hidtil har troet?

Af Birgitte Svennevig, Kommunikationsmedarbejder, SDU. Kilde: *PNAS*

Edderkoppens sure spind

Verden over kappes forskere om at aflure edderkoppens opskrift på det perfekte spind. Spindet har nemlig en række egenskaber, der også vil være praktiske for os mennesker: Det er let, elastisk, bionedbrydeligt og stærkere end stål. Nu har et forskerhold ledet fra Karolinska Institutet i Stockholm med deltagelse af professor Daniel Otzen fra Aarhus Universitet løst et af edderkoppespindets mange mysterier, nemlig hvordan den flydende, sirupagtige proteinmasse i edderkoppens silkekirtel kan størkne og danne den velkendte stærke tråd af fibroin inden for et sekund, efter at den forlader spindevorten. Resultaterne er netop offentliggjort i *Nature Communications*.

Man vidste i forvejen, at det hænger sammen med surhedsgraden i væsken. Inde i silkekirtlen har væsken en neutral pH-værdi på 7, men på dens vej mod spindevorten blive den mere og mere sur, så pH-værdien når ned på ca. 5,5 (omtrent så surt som regnvand) i det øjeblik, den forlader edderkoppen. Forskerholdet har undersøgt, hvordan forsuringen helt konkret



Foto: Colourbox

får proteinmolekylerne til at skabe stabile kontakter med hinanden, så de kan danne spindelvæv. Undersøgelsen er foregået på eksem-

plarer af den sydafrikanske edderkoppeart *Euprosthonops australis*.

Et materiale bliver mere surt, når dets indhold af brintprotoner stiger, hvilket det gør, når brintatomer afgiver deres ene elektron. Protonerne samler sig i den ene ende af hvert protein, så denne ende får en positiv elektrisk ladning. Den positive ende tiltrækker den ende af naboproteinets, som ikke har protoner, mens naboproteinets anden ende tiltrækker genboens modsatte ende osv., således at de begynder at danne kæder (polymerer), som bliver til fibroin.

Processen sker gradvist, i takt med at pH-værdien falder, så bindingerne i begyndelsen er så svage, at eventuelle fejlkonstruktioner kan nå at blive rettet. Samtidig sikrer edderkoppen, at der ikke dannes færdig fibroin inde i kroppen, men at det først størkner, når det er kommet ud af spindevorten, hvor der er brug for den. Peter F. Gammelby, kommunikationspartner og journalist, Aarhus Universitet



Ved at sno ganske almindelig fiskesnøre af nylon eller polyethylen om sig selv bliver den til en kunstig muskel.

Foto: The University of Texas at Dallas

omgange pr. minut. Hvis man snor fiberen endnu kraftigere (ligesom den anden fase af propelflyver-elastikken) omdannes den til en muskel, som trækker sig kraftigt sammen i længderetningen, når den varmes op, og vender tilbage til sin oprindelige form, når den nedkøles igen. Hvis denne snoning i anden fase foregår i modsat retning af den oprindelige snoningsretning får man en muskel, der i stedet udvider sig, når den opvarmes og trækker sig sammen igen ved nedkøling.

Sammenlignet med almindelige muskler, som kan trække sig

sammen omkring 20 % kan disse kunstige polymermuskler trække sig sammen omkring 50 % af deres længde. Og selv under stor belastning er de i stand til at trække sig sammen og udvide sig millioner af gange.

Ifølge forskerne vil disse kunstige muskler kunne bruges i mange sammenhænge, fx i robotter og exo-skeletoner. Ved at bruge parallelle bundter af sådanne polymer-muskelfibre (ligesom rigtige muskler er organiseret), vil man let kunne løfte objekter på mange hundrede kg.

Forskernes polymermuskler er normalt drevet af elektrisk opvarmning, fx via tynde metaltråde, der vikles sammen med polymerfibre. Men de kan også blot være drevet af omgivelsernes temperaturændringer.

CRK, Kilde: *Science* vol. 343 no. 6173 pp. 868-872

Muskler af fiskesnøre

Hvis man i barndommen har leget med en elastikdrevet propelflyver, ved man, at elastikken i første omgang blot snor sig om sig selv, hvorefter den efter tilstrækkeligt mange omganges snoning begynder at sno sig op i tætliggende vindinger. Et internationalt forskerhold har nu brugt dette yderst simple princip til nemt og billigt at lave kunstige muskler ud fra ganske almindelig fiskesnøre og sytråd. I en afhandling i *Science* beskriver forskergruppen ledet af Ray Baughman fra

University of Texas at Dallas, hvordan de kunstige muskelfibre kan løfte 100 gange mere vægt og generere 100 gange mere muskelforbrug end rigtige, menneskelige muskler af samme længde og vægt.

Ved at sno polymerfibrer (ligesom den første fase af i snoningen af en propelflyver-elastik) kan polymeren efterfølgende bruges som en "roterende" muskel, der kan få en tung rotor til at køre med en hastighed mere end 10.000

Vindmøller som orkanværn

En nylig afhandling i *Nature Climate Change* må give vindmølleindustrien våde drømme: Computersimuleringer viser nemlig, at havbase-rede vindmølleparker med tusinder af turbiner kunne have taget pusten fra en række af de alvorlige orkaner, som har ramt USA det seneste tiår. Simuleringer er udført af civil- og miljøingeniøren Mark Z. Jacobson, der er professor ved Stanford University, USA. Han har i mere end tyve år udviklet en computermodel for at studere luftforurening, energi, vej og klima. For nylig har han udviklet applikationer af denne model til at studere hhv. udviklingen af orkaner og bestemmelse af, hvor meget energi vindturbiner kan trække ud af globale vindstrømme. Inspireret af de seneste års alvorlige orkankatastrofer i USA har han så sammen med kolleger fra University of Delaware kombineret disse anvendelser af modellen til at se på, hvad der sker, når en orkan møder en vidstrakt park af havvindmøller. I simuleringerne har forskerne brugt data fra de virkelige orkaner Sandy, Isaac og Katrina. Overraskende viste det sig, at det faktisk vil kunne reducere vindhastighederne med op til 148 km/t og reducere den tilhørende flodbølge med op til 79 %. Men der skal dog ganske mange vindturbiner til. I simuleringerne af orkanen Katrina viste modelberegningerne således, at et arrange-



Foto: Colourbox

ment af 78.000 vindturbiner ud for kysten af New Orleans markant ville have reduceret voldsomheden af orkanen, inden den gik i land og forårsagede enorme skader.

Vindmøller i dag kan klare vindhastigheder svarende til orkaner i kategori 2-3. Men forskernes studier tyder på, at massive vindmølleparker faktisk vil kunne forhindre orkaner i at blive meget kraftigere end det. Ifølge forskerne vil de forventede besparelser på stormskader udgøre et ekstra økonomisk incitament til at bygge massive vindmølleparker ud for kysterne af orkantruede byer.

CRK, Kilde: *Nature Climate Change* 4, 195-200 (2014)

750 deltagere udvikler naturfagene til BIG BANG

Har du hørt om lærere inden for naturfagene som ikke rigtig gider at udvikle undervisning? Hvis man ser på BIGBANG, er det svært at fastholde det billede. For anden gang afholdes Danmarks nationale naturfagskonference, BIGBANG, og alle deltagerpladser er revet væk. 20.-21. marts mødes ca. 750 lærere, udviklere og forskere på Vingstedcenteret ved Vejle for at udveksle viden og lære af hinandens erfaringer med naturfaglig undervisning. BIG BANG rummer både en messe og over 100 programpunkter, som er organiseret i 10 forskellige programspor.

Deltagerne kan selv sammensætte deres eget program og fx vælge programpunkter med fokus på konkret undervisning inden for egne fag, om det så er biologi, fysik, kemi eller naturgeografi. Der er også en række programpunkter med fokus på matematik. Man kan også vælge at deltage i de mere brede programpunkter som sætter fokus på tværgående problemstillinger. Det kan fx være oplæg om science events og deres betydning for læring, eller workshopper om innovation i MONA-sporet, sporet om talentundervisning eller sporet om bæredygtighed.

Side om side med de mange foredrag og workshops på konferencen ligger BIG BANGs naturfagsmesse, hvor der er inspiration fra kommercielle udstillere, der præsenterer de nyeste trykte og digitale læremidler. På messen



Konferencen BIGBANG blev afholdt første gang i 2013 hvor der blandt meget andet var workshop om spiselige eksperimenter.

er der desuden repræsentanter fra naturskoler, museer, science-centre og andre uformelle læringssteder, som har besøgstilbud.

BIG BANG arrangeres i samarbejde mellem NTS-centeret, Danish Science Factory, CFU, Københavns Universitet, Universe, Naturvidenskabernes Hus, ScienceTalenter, Økolariet og Friluftsrådet.

Læs mere om BIG BANG-programmet på www.bigbangkonferencen.dk hvor præsentationer fra konferencen også vil blive lagt op. På de sociale medier kan BIGBANG følges under #BBDK14.

Af Sebastian Horst, Institut for Naturfagenes Didaktik, Københavns Universitet, medarrangør af BIG BANG.

Syreresistent koralrev

Faldende pH i verdenshavene er en af konsekvenserne af en øget koncentration af CO₂ i atmosfæren. Og denne forurening af verdenshavene udgør en stor trussel for verdens koralrev. Fx betyder surere vand, at korallerne kan få problemer med at opbygge deres kalkskelet, ligesom man kan se en mindre mangfoldighed af koraller på koralrev og større problemer med algevækst.

Forskere har nu gjort en overraskende opdagelse ved øgruppen Palau i det vestlige Stillehav, idet der her findes koralrev, som tilsyneladende trives fint i vand med en høj surhedsgrad.

Kathryn Shamberger fra Woods Hole Oceanographic Institution, USA, og kolleger indsamlede vandprøver fra ni punkter i en linje, der strakte sig fra det åbne hav henover koralrevet og ind i en lagune bag koralrevet. Forskerne fandt, at vandet blev mere og mere surt, jo tættere de kom på land. Surhedsgraden omkring koralrevet svarede til, hvad man forventer at se i verdenshavene ved udgangen af dette århundrede. Men korallerne ved Palau viste ingen tegn på at være negativt påvirkede af det sure vand – tværtimod fandt forskerne de mest vitale og



Foto: Palau International Coral Reef Center

diverse områder af koralrevet i det mest sure vand. Forskernes analyser viser, at forureningen af vandmiljøet ved Palau skyldes processer, man ser på alle koralrev, nemlig at levende organismer fjerner carbonationer fra vandet, når de danner kalkskaller, og at organismene ved respiration tilfører vandet CO₂. Forskellen er, at der kun er en meget langsom udskiftning af vandet ved koralrevene ved Palau, hvorfor vandet opnår højere surhedsgrader end man ser andre steder. Forskerne vil nu forsøge at afklare, hvad der er årsagen til netop disse korallers modstandsdygtighed overfor forurening af havet. Skyldes det genetiske tilpasninger, eller er der tale om et optimalt mix af andre gunstige forhold for korallerne? Svarene på disse spørgsmål kan være vigtige for at forstå den trussel, som verdens koralrev står overfor med den forventede forurening af verdenshavene.

CRK, *Geophys. Res. Lett.* 41 doi:10.1002/2013GL058489

Smeltevand giver et særegent liv i Nuup Kangerlua

En usædvanlig algeproduktion og en næsten ukendt vandloppeart i den grønlandske fjord Nuup Kangerlua pirrer forskernes nysgerrighed.

De senere års forskning ved Grønlands Klimaforskningscenter på Grønlands Naturinstitut viser, at Nuup Kangerlua – Godthåbsfjorden – på mange måder er anderledes, end hvad der normalt observeres i arktiske økosystemer. Det anderledes starter med alt det, som er småt – alger og dyreplankton. Algernes produktion er således anderledes fordelt hen over året end normalt, idet sommer- og efterårsproduktion er næsten lige så stor som forårsproduktionen. Det er ellers den generelle opfattelse, at forårsopblomstringen er den altafgørende begivenhed i det marine arktiske økosystem. Det lader nu til, at sommer- og efterårsproduktionen ligeledes er særdeles vigtig i fjorden, og at den produktive sæson derfor er meget lang.

Den mystiske vandloppe

Forskerne har også fundet, at artssammensætningen af fjordens dyreplankton, nærmere bestemt vandlopper, er helt anderledes end forventet – ligesom mængden af dem topper på et andet tidspunkt af året end forventet. I andre arktiske områder topper mængden af dyreplankton samtidig med forårsopblomstringen i forårs månederne, og her er det generelt dyreplankton af vandloppeslægten *Calanus*, der dominerer. I Nuup Kangerlua dominerer derimod en meget mindre og næsten ukendt vandloppeart, *Microsetella*. Den lille rødlig vandloppe forekommer med enorme tætheder på op til 450

pr. liter hvor der normalt ville forventes 1-3 løpper pr. liter. Meget lidt vides om dette lille rødlig væsen, som nærmest virker livløs under mikroskopets lup. Ingen ved, hvad den lever af, eller om den selv er føde for andre. Normalt har de små planktondyr en central rolle i fødekæden, derfor kan vejene gennem fødekæden være anderledes i fjorden end i havet, og hvad der er observeret i andre arktiske områder.

Uventet drivkraft

Men hvorfor passer de observationer, forskerne har lavet i Nuup Kangerlua, ikke ind i den gængse opfattelse af, hvordan et arktisk økosystem fungerer og er opbygget? Forklaringen skal måske findes oppe over vandet, ja helt oppe på land. Her ligger indlandsisen, verdens næststørste iskappe, en kæmpe isklump, som mange steder når helt ned i fjordene. Hver sommer smelter en del af isen. Det specielle er, at smeltevandet kommer som en puls – ikke om foråret, hvor snedækket smelter i det øvrige landskab, men først i løbet af sensommeren.

Studier viser, at den kraftige afstrømning fra indlandsisen, der kommer som en puls i sensommeren, er i stand til at ændre den måde, hvorpå vandet cirkulerer i fjorden: Vandets bevægelser i Nuup Kangerlua er forskellige før, under og efter den tilstrømmende puls af ferskvand fra indlandsisen. Ændrin-

Forfatterne



Kristine E. Arendt er marinibiolog
krar@natur.gl



Emma Kristensen er kommunikationschef
emkr@natur.gl

Begge ved Grønlands Naturinstitut.

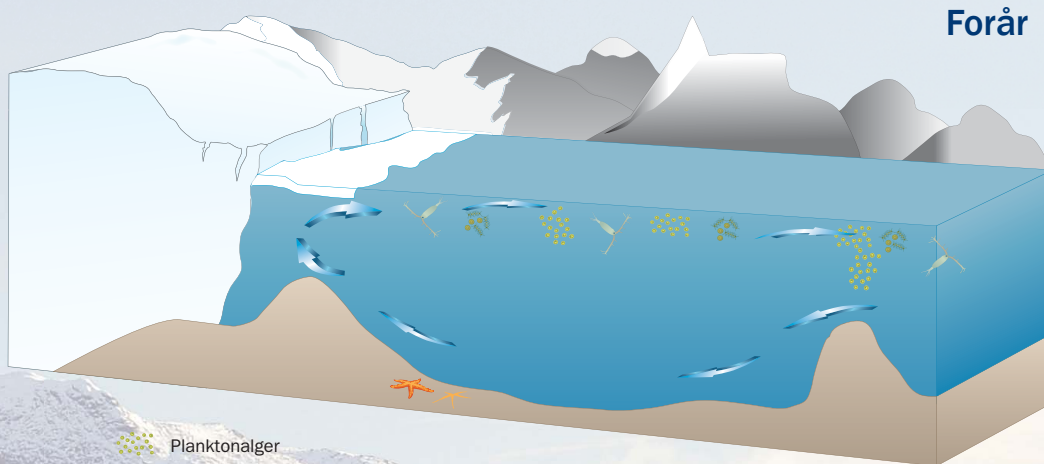


Den lille rødlig vandloppe *Microsetella norvegica* er meget dominerende i Nuuk Kangerlua i sensommeren.

Foto: Kristine Arendt

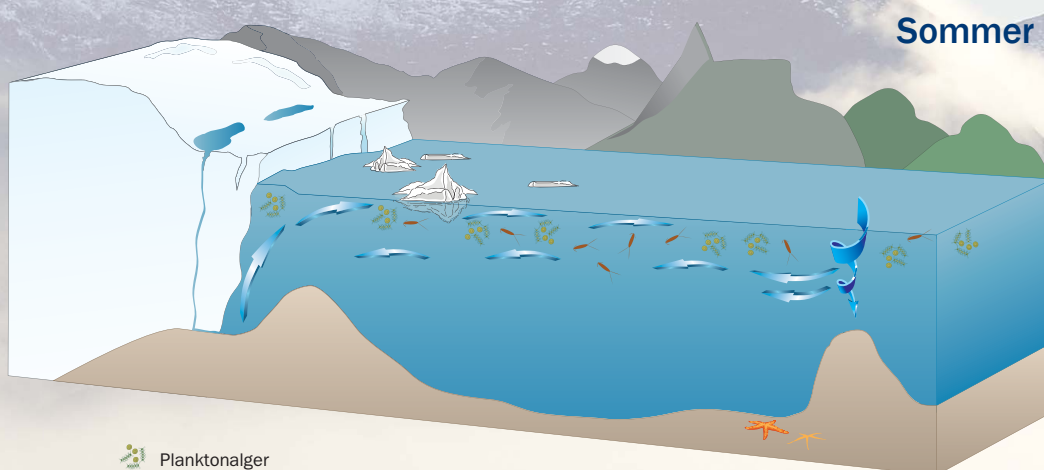
Vandmassernes cirkulationsmønstre



Forår



-  Planktonalger
-  Vandloppen *Calanus*

Sommer



-  Planktonalger
-  Vandloppen *Microsetella*

Vandmassernes overordnede cirkulationsmønstre i Nuuk Kangerlua om foråret og i sensommeren. I forårmånederne strømmer tungt kystvand ind i fjordens dybere dele drevet af ændringer i kyststrømmen og den vestgrønlandske strøm. Forårsopblomstringen er domineret af planktonalgen *Phaeocystis* og vandloppen *Calanus*. I august-september sker afsmeltningen fra indlandsisen ved, at gletsjerne kælder, og isbjerge smelter i den indre del af fjorden. Herudover strømmer store mængder smeltevand fra ind-

landsisen ned i fjorden. Smeltevandet tilføres fjorden både i overfladen og fra undersiden af gletsjerne. Smeltevand, tidevandskræfter og opblanding resulterer i, at en varm opblandet vandmasse i de ydre dele af fjorden strømmer tilbage under det smeltevandsførende lag. Det overordnede strømningmønster influerer ikke på fjordens dybere vandmasser. I sensommeren opstår en sensommeropblomstring domineret af kiselalger og den lille vandloppe *Microsetella*.

Skematisk model af Kristine Arendt

Foto: Thomas Juul-Pedersen



↑ Foto fra Nuup Kangerlua
– Godthåbsfjorden

Foto: Thomas Juul-Pedersen

Videre læsning

[www.natur.gl/
klimaforskningscenter/
overvaagning/](http://www.natur.gl/klimaforskningscenter/overvaagning/)

Grønlands Naturinstituts
hjemmeside:

www.natur.gl
Her findes bl.a. en liste
over publicerede artikler
fra Grønlands Klimaforsk-
ningscenter

Data, som er anvendt til
studierne, er bl.a. ind-
samlet under delpro-
grammet Marin Basis
Nuuk, der hører under
klimaovervågningspro-
grammet Nuuk Basis,
som Grønlands Natur-
institut samt Grønlands
Klimaforskningscenter er
ansvarlig for.

gerne medfører tilsyneladende øget produktion ved opblomstring af alger i sensommeren og et godt stykke ind i efteråret.

Den seneste forskning har vist, at ferskvandstilførsel i sensommeren og efterårsmånederne influerer på hele det kystnære miljø og har stor indflydelse på økosystemet. Den høje sensommerproduktion er givetvis årsagen til, at sammensætning af dyreplankton i fjordene er anderledes end forskerne havde forventet. Den høje årlige produktion og lange produktive sæson medfører, at fjordområder og kystnære egne af Vestgrønland udgør vigtige lagre for atmosfærisk CO₂.

De arktiske økosystemer – de grønlandske i særdeleshed – er meget diverse og udviser store geografiske forskelle i både tid og rum. Ydermere tyder det på, at indlandsisen har langt større indflydelse på de marine økosystemer end hidtil antaget. Interaktionen mellem isen, fjordene og havet er et område, som forskerne først nu er begyndt at gisne om betydningen af.

Øget overvågning af økosystemer

Opmærksomheden omkring effekter af klimaforandringer er ofte koncentreret om forandringer i

det fysiske miljø, eksempelvis udbredelsen og tykkelsen af havis samt øget afsmeltning af indlandsisen. Sværere bliver det, når talen falder på konsekvenser af klimaforandringer på økosystemer og dyreliv. Antallet af konkrete konklusioner er ganske simpelt begrænset af mængden af viden.

Manglende tidsserier (dvs. gentagne undersøgelser over en årrække), basale undersøgelser af artssammensætning og antallet af de enkelte organismer i tid og rum gør det vanskeligt at afsløre, om der er sket en ændring i økosystemet. Endnu sværere er det reelt at bevise, at eventuelle forandringer er sket som konsekvens af ændringer i klimaet.

De seneste årtiers opmærksomhed omkring klimaforandringer har medført, at der er kommet øget fokus på problemstillingen. I Grønland kører der nu to programmer for overvågning af økosystemer under GEM (Greenland Ecosystem Monitoring) i henholdsvis Zackenberg i Nordøstgrønland og Nuuk i Vestgrønland. Disse basale overvågningsprogrammer har sammen med en lang række forskningsprojekter ført til en bedre forståelse af økosystemerne og deres dynamik. ■



**VIL DU
VIDE MERE?**
FLYTVERDEN.DK

KEMI

FÅ VIDEN OM OG REDSKABER TIL HVORDAN DU UDNYTTER MOLEKYLÆR VIDEN TIL AT DESIGNE NYE PROCESSER OG MATERIALER

Som uddannet kemiker eller kemiingeniør arbejder man typisk med forskning, udvikling, produktion og kvalitetskontrol i industrien eller det offentlige. Man kan fx arbejde med udvikling af nye materialer til forbedring af solceller, vindmøller, cement, lægemidler og levnedsmidler.

Som kemiker kan man desuden undervise på de gymnasiale uddannelser.



AALBORG UNIVERSITET

En verden med nanotråde



Forskere arbejder på at udvikle nanotråde tusinde gange mindre end et hår, som kan bruges til at måle, hvad der foregår i en enkelt celle.

Forfatteren Morten Hannibal Madsen er ph.d. fra Nano-Science Center ved Niels Bohr Institutet og ansat ved DFM A/S hannibal@nbi.ku.dk

Hvis man ønsker at overvåge, hvad der foregår i kroppen, findes der forskelligt udstyr, der kan bruges til formålet: pulsmålere, termometre, blodtryksmålere mv. Men hvad nu, hvis man ønsker at overvåge, hvad der foregår inde i en enkelt celle? Så er mulighederne straks meget mere begrænsede.

Målinger på enkelte celler er meget relevant fx i forbindelse med undersøgelser af bivirkninger af medicin på et meget grundlæggende niveau. Da der er konstant stigende krav til producenter af medicin om store og dyre kliniske studier af medicins effekt og ikke mindst bivirkninger, vil målinger på et tidligt stadie gøre udviklingen meget billigere.

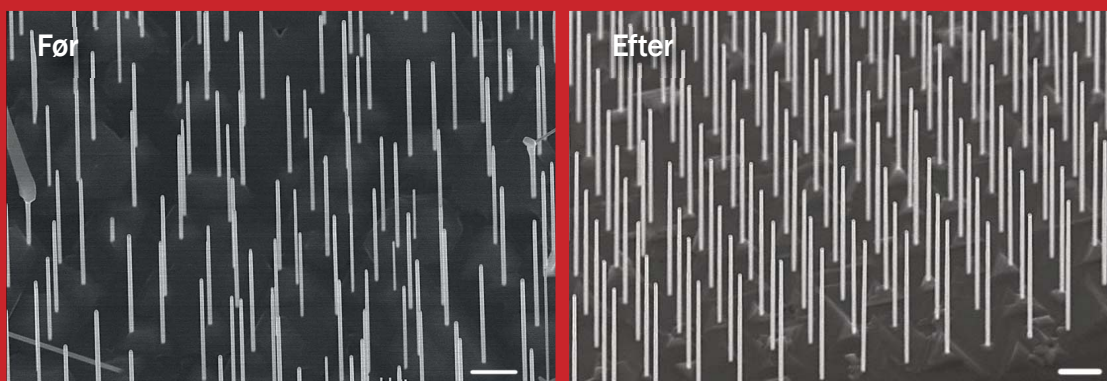
I dag kan man måle på celler ved at stikke en tynd glaspipette ind gennem cellemembranen. Glaspipetten indeholder en elektrode, der måler hvordan

cellen reagerer, når den udsættes for medicin. Det største problem ved denne type målinger er, at der skabes et så stort hul i cellen, at den ikke kan hele. Det medfører to store udfordringer: For det første ved man ikke, om cellen opfører sig anderledes, når membranen er ødelagt, og for det andet dør cellen indenfor en halv time.

Ved at benytte nanotråde, der er meget mindre end glaspipetter, kan man omgå disse problemer. På Niels Bohr Institutet forsker vi i at fremstille nanotråde netop med det formål at bruge dem til at måle på enkelte celler.

Målrettede nanoprik

Nanotråde er typisk 50-100 nanometer i tykkelsen. En nanometer er en milliardtedel af en meter eller cirka den samme længde, som en negl vok-

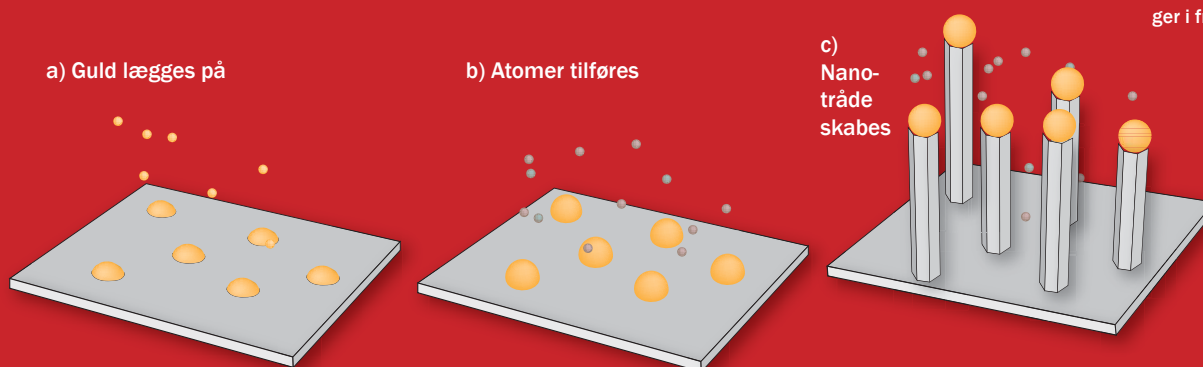


Elektronmikroskopbilleder af nanotråde fremstillet før og efter optimering af fremstillingsmetoden.

På "før-billedet" til venstre er nanotrådene spredt tilfældigt og har mange forskellige længder. Det gør dem uegnede til celleforskning. Efter optimering af fremstillingsmetoden er nanotrådenes position og højde meget ensartet. Det gør dem velegnede til at blive stukket ind i menneskeceller. Billederne er taget med 20.000 gange forstørrelse, og bjælken i nederste højre hjørne af hvert billede er 1.000 nanometer.

Fotos: Morten Hannibal Madsen.

Fotoet på forrige side viser forfatteren ved udstyr til fremstilling og samtidig karakterisering af nanotråde. Prøverne indføres i toppen af apparatet (1), hvorefter trykket bringes ned, indtil det svarer til at være ude i rummet (2). Prøverne flyttes ind i et nyt kammer, hvor nanotrådene fremstilles ved at tilføre en kontrolleret mængde atomer (3). Mens nanotrådene bliver fremstillet kan der sendes røntgenstråler ind gennem stål-røret (4). Derved kan man studere selv meget små ændringer i fremstillingen



De grundlæggende trin i fremstilling af nanotråde.

- (a) Der lægges guld på en krystal. Ved høje temperaturer danner guldets mange små dråber.
- (b) En kontrolleret mængde atomer tilføres. Atomerne samler sig i gulddråberne.
- (c) Ét atomlag af gangen bliver nanotråden fremstillet. Der skal hele tiden tilføres flere atomer for at holde processen i gang. Gulddråberne bliver siddende på toppen af nanotrådene under hele fremstillingen.

ser på et sekund. Nanotråde er derimod op til 0,01 mm lange, og det store forhold mellem tykkelse og længde er med til at give dem specielle egenskaber.

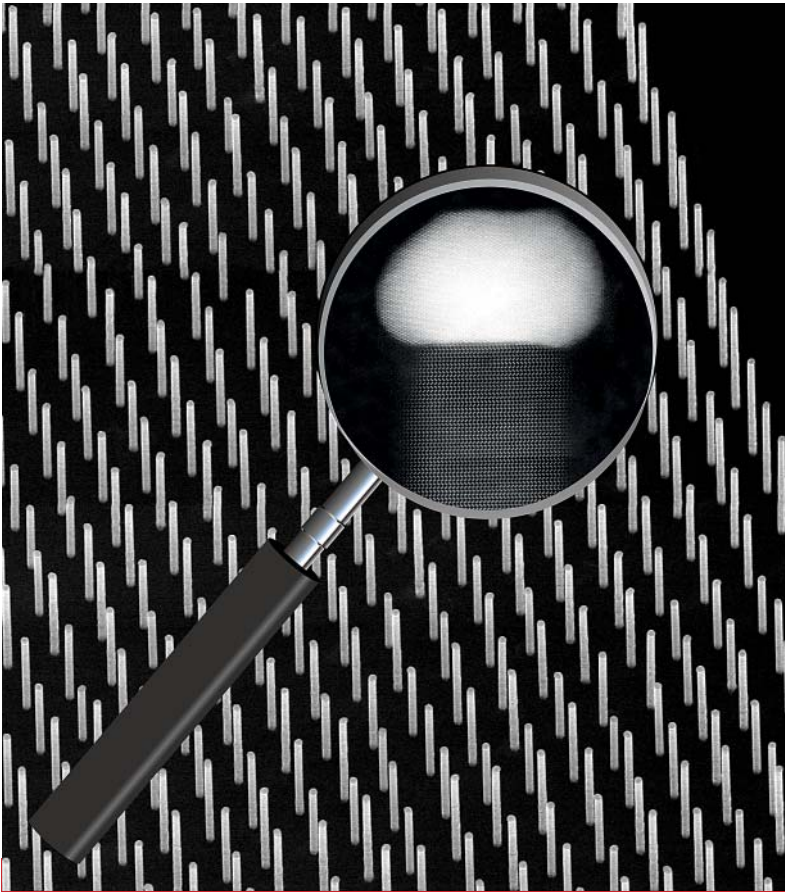
Nanotrådene er flere hundrede gange mindre end en celle og påfører derfor kun cellen et lille hul, når de stikkes igennem cellemembranen. Det påvirker cellernes helbred langt mindre og gør det muligt at måle på en enkelt celle over lang tid, fordi den ikke dør kort efter indgrebet.

Det er ofte en stor udfordring at få medicin til at trænge gennem cellemembranen, og det koster megen tid og kræfter at modificere medicinen, så den kommer rigtigt frem. Nanotråde har også potentiale til at målrette medicinering af enkelte celler. Ved at lægge medicin på overfladen af nanotrådene og stikke disse ind i cellen kan man nemmere

“tvinge” en celle til at optage et stof. Da nanotråde i sig selv er en elektrode, kan man samtidig undersøge effekten af medicineringen. Det vil derfor være muligt at udføre målinger med den samme nanotråd, som har bragt medicinen ind i cellen.

Kontrol af atomer

Under ultra-rene forhold, der stort set svarer til at være ude i verdensrummet, fremstilles nanotrådene ved at tilføre en kontrolleret mængde atomer til en krystal. Atomerne vandrer tilfældigt rundt på overfladen af krystallen, indtil de finder et godt sted at sidde. Ved at gøre det mere favorabelt for atomerne at sætte sig et bestemt sted kan fremstillingen af de specielle nanostrukturer styres. Hele processen med at fremstille nanotrådene foregår ét atomlag ad gangen, men flere millioner nanotråde kan fremstilles samtidig.



Elektronmikroskopbilleder af nanotråde. Nanotråden i midten er forstørret en million gange. Man kan tydeligt se gulddråben øverst, og hver enkelt prik under gulddråben er et atom.

Collage med billeder af Morten Hannibal Madsen og Erik Johnson.

Om nanotråde

Typiske materialer: Indium, Gallium, Arsen, Silicium

Nye materialer: Fosfor, Antimon

Tykkelse: 50-100 nanometer

Længde: Op til 0,01 mm

Anvendelser: Målinger på celler, næste generation computere, solceller, batterier, lysdioder

Videre læsning

Nanoteknologi til udvikling af ny medicin, Bioteknologisk forskning kan hentes gratis på www.science.ku.dk/oplev-science/gymnasiet/undervisningsmaterialer/boeger/bog_biotech_forsk/filer/10_nanoteknologi.pdf/

Bogen Nanoteknologiske horisonter kan hentes gratis på www.nano.dtu.dk

Der benyttes oftest guld for at kontrollere atomernes bevægelser. Ved høje temperaturer bliver gullet flydende og former mange små dråber. De atomer, der tilføres, vil samle sig i gulddråberne. Når der er nok atomer samlet i dråben, vil atomerne danne ét atomlag. Herefter skal der tilføres flere atomer for at fremstillingen fortsætter.

Guld har dog den uheldige egenskab, at det modvirker de specielle egenskaber, som nanotrådene har. Selv et enkelt guldatom kan være ødelæggende. Netop tilstedeværelsen af guld har været en stor hæmsko for at kunne benytte industrielle laboratorier til fremstillingen af nanotråde.

En stor del af mit projekt har derfor handlet om at udvikle metoder til at fremstille nanotråde uden brug af guld eller andre metaller. Ved i stedet at lægge et beskyttende lag på krystallen og ætse små huller i laget bliver det favorabelt for atomerne at samle sig i hullerne. Hullerne fungerer som en brønd for atomerne, og det bygger fundamentet til nanotrådene. Med den nye fremstillingsmetode er der taget et stort skridt i retning af at integrere nanotrådene med den eksisterende industri.

Fejlfrit atompuslespil

Hvert atomlag i nanotrådene kan lægge sig på flere forskellige måder i forhold til de andre lag. Sider de forskellige, vil det påvirke egenskaberne af nanotrådene. Forskerne har derfor også fokuseret på at optimere atomlagenes placering. Det er lykkedes at nedbringe antallet af uregelmæssige lag til mindre end 1 pr. 10.000 atomlag. Nu kan antallet af uregelmæssige lag i hver nanotråd tælles på én hånd.

Nanotråde af høj kvalitet, som er fuldstændig fri for uregelmæssigheder, er eftertragtet af forskere fra hele verdenen. Prøver med de optimerede nanotråde er derfor sendt til adskillige internationale forskere, herunder til forskningsgrupper ved de anerkendte universiteter Harvard og Stanford.

Indtil nu har det kun været muligt at studere nanotrådene og atomlagenes placering efter fremstillingen var slut.

Som en del af projektet er der for første gang udført karakterisering af nanotråde med røntgenstråler *samtidig* med, at de er blevet fremstillet. Det har givet ny viden om de underliggende processer under fremstillingen og har højst overraskende vist, at atomlagene kan ændre sig efter fremstillingen. Eksperimentet blev foretaget ved at flytte fremstillingen af nanotråde til verdens største røntgenkilde, der ligger i Japan. Ved at sende røntgenstråler ned på et lille område af prøven samtidig med, at der tilføres en kontrolleret mængde atomer, er det muligt at følge med i fremstillingen et skridt ad gangen.

Et kig i krystalkuglen

Forskere er nu i gang med at fremstille nanotråde af nye materialer. Målet er at fremstille endnu bedre produkter. Det vil kræve en krystalkugle af god kvalitet at spå om, hvad forskningen i nanotråde vil bidrage med i fremtiden. For 15 år siden var der stort set ingen forskning i nanotråde, og i dag anvendes de i alt fra forskning på menneskeceller til udvikling af næste generation computere. Det bliver spændende at følge med i, hvor nanotråde bliver anvendt om 15 år, eller om de er blevet overhalet indenfor af nye og endnu mere fantastiske strukturer. ■

GRATIS FORELÆSNING OM ØLBRYGNING

BIOTEKNOLOGI I PRAKSIS - UNDERVISNING OG FORSKNING

Ved forelæsningsen vil brygprocessens hovedtrin blive gennemgået. Du får indsigt i, hvordan de forskellige råvarer – især vand, malt, humle og gær – har stor betydning for øllets kvalitet.

I undervisningen af kemiingeniørerne på SDU brygger de studerende øl. Lektor, civ.ing. Bent Lyager bruger ølbrygningen til at give de studerende mulighed for at se, hvordan den teoretiske viden, de har opnået, kan anvendes i praksis - såsom enzymatiske processer, fermentering, formaling og køling. Til forelæsningsen vil Bent Lyager fortælle om, hvordan kemi, biologi og teknologi kan spille sammen i ølbrygning.

Til slut vil der blive givet eksempler på bioteknologiske forskningsområder i relation til ølbrygning.

I pausen vil der blive serveret smagsprøver fra Ørbæk Bryggeri, ligesom der vil være mulighed for at se udstyr til brygning af øl i mindre skala samt se, dufte og smage råvarer.

Tilrettelagt i samarbejde mellem Folkeuniversitetet og Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet. Smagsprøverne er sponsoreret af Ørbæk Bryggeri.

Folkeuniversitet: Hold 14081

Forelæser: Lektor, civ.ing. Bent Lyager

Mandag: 03.04 kl. 18.00-20.00

Lokale 45, Syddansk Universitet, Campusvej 55, 5230 Odense M.

Gratis adgang. Tilmelding er nødvendig på www.fuodense.dk - søg på ølbrygning



I pausen bliver der serveret smagsprøver fra Ørbæk Bryggeri



Videnskab for øjet

I februar måned blev vinderne af den videnskabelige "visualiseringskonkurrence" *International Science & Engineering Visualization Challenge* offentliggjort i tidsskriftet *Science*. Det er 11. gang, at denne konkurrence, der arrangeres af det amerikanske forskningsråd (NSF) og organisationen bag tidsskriftet *Science*, AAAS. Formålet er i sagens natur at kommunikere kompleks videnskab gennem smukke illustrationer, der – når de er rigtigt lavet – kan fortælle langt mere end et vognlæs ord.

Vinderne blev udvalgt blandt 227 bidrag fra 12 lande. Billedet her stammer fra en video, der beskriver de kemiske og fysiske egenskaber af sfæriske nukleinsyrer (SNA), som består af en masse RNA-strenger tæt pakket på overfladen af en nanopartikel. Videoen forklarer, hvordan sådanne sfærer kan bruges til terapeutisk behandling og diagnostik. Videoen vandt i kategorien "peoples choice", hvor man kunne stemme på de forskellige videobidrag på nettet.

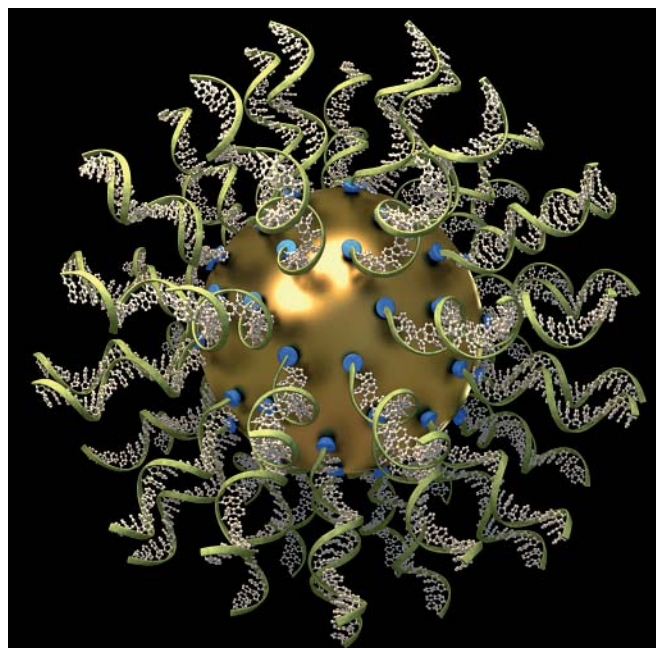


Illustration: Quintin Anderson, The Seagull Company, Chad Mirkin, Northwestern University; Sarah Petrosko, Northwestern University

CRK

Se vinderne via dette link:

www.nsf.gov/news/special_reports/scivis/winners_2013.jsp

Termoelektriske materialer

Med termoelektriske materialer kan man høste elektricitet ud af spildvarme eller lave tynde, kompakte kølemoduler til fx computere og elektronik. Sådanne materialer kan få en stor rolle i fremtidens teknologi, hvis materialerne kan gøres mere effektive og billige. Og vi er godt på vej.

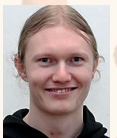
Forfatterne



Bo Brummerstedt Iversen er professor og leder af CMC
bo@chem.au.dk



Jacob Becker er Center Manager for CMC
jbecker@chem.au.dk



Kasper Andersen Borup er ph.d.-studerende ved CMC.
kasperab@chem.au.dk

I 1821 opdagede den tyske fysiker Thomas Johann Seebeck, at der opstod et magnetfelt omkring et lukket kredsløb af to metaller, hvis der var en temperaturforskel imellem de to kontaktpunkter. Danske H. C. Ørsted konkluderede siden, at magnetfeltet skyldtes dannelsen af en elektrisk strøm i kredsløbet. Godt et årti senere, i 1834, opdagede den franske fysiker Jean Charles Peltier, at hvis man konstruerede et tilsvarende kredsløb, men tvang strøm igennem fra en ekstern kilde, opstod der en temperaturforskel mellem de to punkter, hvor metallerne mødtes. Tilsammen beskriver disse opdagelser den *termoelektriske effekt*.

Gennem de efterfølgende knap 200 år er den termoelektriske effekt blevet mere velforstået. Dens evne til at omdanne en temperaturforskel til elektrisk strøm er døbt *Seebeck-effekten*, mens den "omvendte" konvertering af elektrisk strøm til en temperaturforskel kaldes *Peltier-effekten*.

De seneste få årtier har budt på bedre og bedre termoelektriske materialer. Faktisk så gode, at der nu viser sig store anvendelsesmuligheder indenfor udvinding af "grøn" elektricitet fra al den nyteløse spildvarme, som vores samfund producerer i enorme mængder. Feltet kaldes fra engelsk *energy harvesting* og kan blive en af de tangenter, der må spilles på for at få en fremtidig, vedvarende energiforsyning til at hænge sammen. De termoelektriske moduler, man bygger til formålet, kaldes for *termogeneratorer*. På den anden banehalvdel er *Peltier-elementer* til nedkøling blevet så effektive, at de har fundet anvendelse i fx dagligdags køletasker og små campingkøleskabe.

Attraktionen i termoelektriske materialer ligger i at de udfører deres funktion lydøst, vedligeholdelsesfrit og uafbrudt, så længe der blot er en temperatur-

forskel eller en elektrisk strøm til at drive dem. Termogeneratorer og Peltier-elementer kan i sig selv køre uafbrudt i flere årtier.

Varme, elektricitet og termokraft

Udvikling af termoelektriske materialer er vanskelig. Det skyldes, at der er flere forskellige materialegenskaber i spil, som skal optimeres samtidigt.

Eftersom materialet i sidste ende skal fungere som del af et elektrisk kredsløb, er det vigtigt, at det besidder en god *elektrisk ledningsevne*. Elektriske isolatorer fungerer ikke. Samtidig skal materialets *varmeledningsevne* være så lav som muligt. Det sikrer, at den temperaturforskel, der er essentiel, uanset om man søger at høste elektricitet eller opnå en nedkølings-effekt, ikke får lov til at kollapse på tværs af materialet. Den "kolde" og den "varme" zone skal altid holdes adskilt.

Slutteligt skal et termoelektrisk materiale åbenlyst have evnen til at veksle energi imellem elektrisk spænding og temperatur. Denne egenskab kaldes for *termokraften* og udspringer af materialets kemiske sammensætning – herunder dets atomare struktur og de elektroniske energiniveauer, som de kemiske bindinger mellem atomer kollektivt skaber. Termokraftens størrelse udmåles ved *Seebeck-koefficienten*, som kvantificerer, hvor mange volt spændingsforskel man opnår pr. grad temperaturforskel (typisk $\sim 100 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$), eller ved *Peltier-koefficienten*, når man skal den anden vej. Termokraft er en egenskab, der omfatter næsten alle materialer. Seebeck-koefficienten er fx høj i elektriske isolatorer – de duer bare ikke (som nævnt ovenfor) til termoelektriske materialer. Metaller, som omvendt er gode elektriske ledere, har derimod en ubetydelig Seebeck-koefficient og duer derfor heller ikke. Man skal finde noget ind imellem.

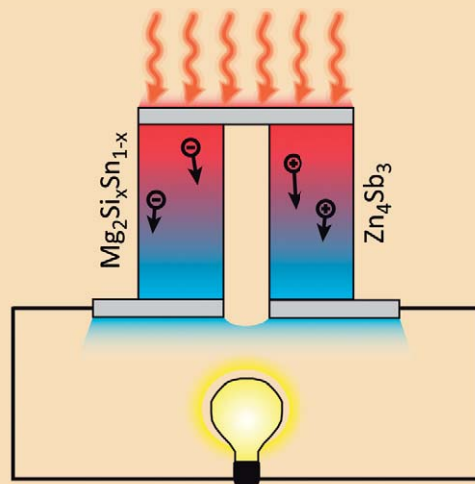
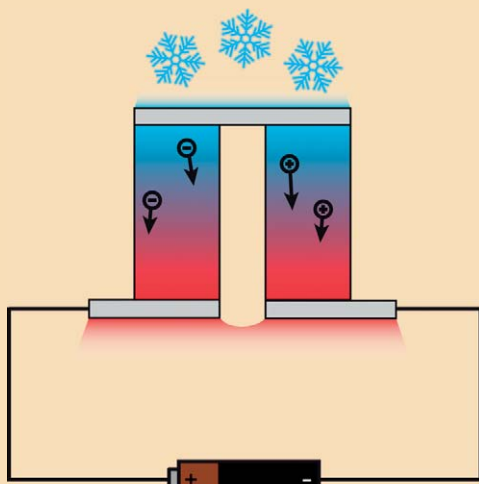
Termoelektriske moduler og materialer



En læselampe til campingbrug, baseret på en kommerciel termogenerator. Fyrfadslýset sørger for varmen, der giver strøm til lampen.

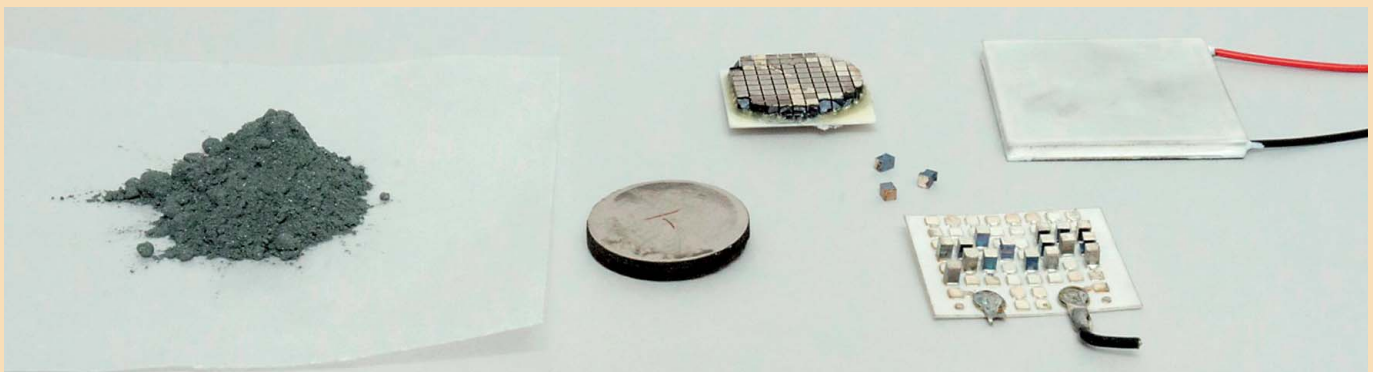
En kommerciel termogenerator til campingbrug, der kan oplade f.eks. mobiltelefoner m.m. ved hjælp af sagte varme fra en almindelig gasbrænder.

Fotos Niels Jørgen Hansen



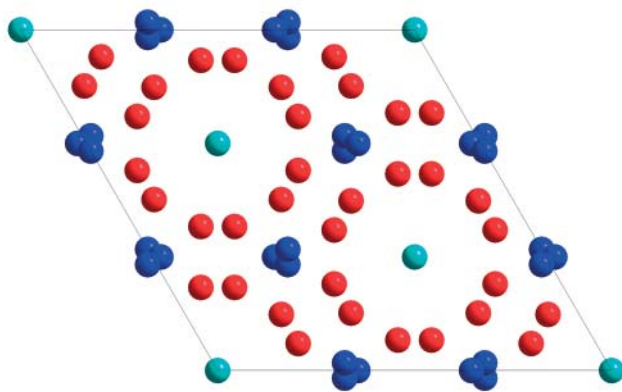
Termoelektriske materialer anvendt som *Peltier-element* til aktiv nedkøling (venstre) eller *Termogenerator* til fremstilling af strøm fra spildvarme (højre).

Illustration: Kasper Andersen Borup



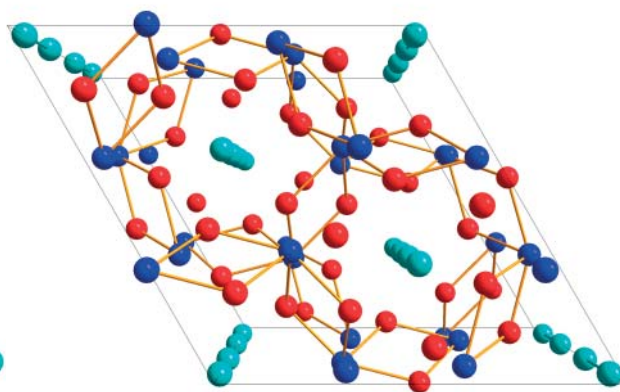
Bestanddelene i et termoelektrisk modul, her vist for en termogenerator. Zn_4Sb_3 syntetiseres som pulveret til venstre, dette presses til en tablet som skæres i stave og samles individuelt mellem en køle- og en varmeflade. Modulet der vises til højre er dog købt kommercielt.

Fotos Niels Jørgen Hansen



En enkelt enhedscelle af Zn_4Sb_3 tegnet uden de kemiske bindinger, set ned langs en af de krystallografiske akser i materialet. De røde atomer er zink, de blå og turkis er antimon (som har to forskellige krystallografiske pladser i cellen). Uordnet zink vises ikke.

Illustration: Anders Blichfeld



En enkelt enhedscelle af Zn_4Sb_3 hvor de kemiske bindinger er tegnet ind. De røde atomer er zink, de blå og turkis er antimon – to forskellige farver fordi antimon har to forskellige bindingsforhold i cellen. Bemærk fx hvordan turkis antimon-atomer er bundet parvist på en måde, der minder om håndvægte.

Illustration: Anders Blichfeld

Halvedere som termoelektriske materialer

En attraktiv kombination af termokraft, elektrisk ledningsevne og termisk ledningsevne finder man i *halvedere*. De kan være rene grundstoffer, fx silicium og germanium, eller kemiske forbindelser. Mange termoelektriske materialer er fx halvledende metalforbindelser som Bi_2Te_3 , $PbTe$, $Ba_8Ga_{16}Ge_{30}$ eller Zn_4Sb_3 .

Halvedere er en mellemting mellem en elektrisk isolator og et metal. Deres elektriske ledningsevne kan ydermere kontrolleres kemisk. Metoden kaldes *dotering* og går ud på at tilsætte små mængder af andre grundstoffer til materialerne, som kan ændre den overordnede balance af valens-elektroner – dvs. skabe et overskud eller underskud iblandt de elektroner, som er til rådighed for kemiske bindinger. Herigennem ændres besætningen af de elektroniske tilstande i materialet, der er ansvarlige for at lede elektricitet. Det er denne kontrol over elektriske egenskaber, der ligger bag succesen af alle halvleder-teknologier som LED-pærer, solceller og computerchips. Ikke-doterede halvledere (fx helt rent silicium) er elektrisk isolerende. Termoelektriske materialer er derimod tungt doterede for at fremme den elektriske ledningsevne, *uden* at termokraften samtidigt ødelægges.

Syntese og struktur

Materialekemikernes udfordring er *samtidigt* at optimere termokraften, minimere varmeledningsevne og maksimere elektrisk ledningsevne. Her er dotering vigtig, om end ikke den eneste vej. Der er mange andre kemiske og fysiske kunstgreb på banen, som kommer til udtryk i bl.a. valget af synteseteknikker, den fysiske facon af de fremstillede

materialer, bevidst tilsætning af fremmedlegemer (fx nanopartikler), m.m.

Nøglen til succes er gennemgående at udforske den atomare struktur af de fremstillede materialer, og hvordan den forandres i respons på disse indgreb. Med "struktur" menes atomernes indbyrdes placeringer, og hvordan deres elektroner arrangerer sig i kemiske bindinger imellem dem.

Termoelektriske materialer har alle krystallinske strukturer. Det vil blot sige, at atomerne sidder bundet i et ordnet 3D-gitter – krystalgitteret, nogle gange kaldet ion-gitteret. Det kan beskrives som et grundlæggende mønster af atomer, kaldet enhedscellen, der gentages igen og igen i alle tre dimensioner, og til sidst udspænder hele materialet.

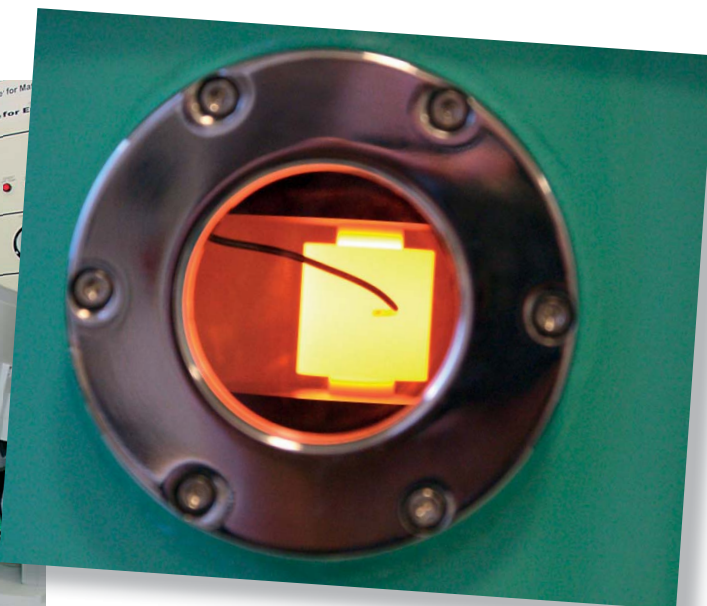
Strukturen af krystallinske materialer kan udforskes med *krystallografi*. Det er et af kemikernes mange værktøjer til at analysere stoffers opbygning. Her sendes en kraftig, monokromatisk røntgenstråle ind på materialet, der undersøges, og et røntgenkamera opfanger, hvordan strålingen spredes ud i rummet. Ved omhyggeligt at optage intensiteter og mønstre i den spredte stråling kan en computer regne sig tilbage til, hvordan enhedscellen er indrettet – og dermed beskrive materialets struktur i sin helhed.

Krystallografi er værdifuldt for materialeforskning, fordi den ikke blot afslører atompositioner, men også elektronernes placeringer overalt i strukturen. Det er vigtigt, fordi elektroner er essensen i alle kemiske bindinger – "kemiens lim". At kende den præcise fordeling af elektroner i enhedscellen,



Hao Yin, forsker ved TEGnology, i gang med at bruge CMC's *Spark-Plasma Sintering* presse, som kan komprimere et pulver til en tæt, kompakt form i facon som en flad cylinder.

Foto: Niels Jørgen Hansen



↑ Øverst et kig ind i pressekammeret på CMC's *Spark-Plasma Sintering* presse under selve presningsprocessen, der omdanner materialepulveret til kompakt, fast materiale. Pulveret er indesluttet i den hvidglødende beholder; den mørke skygge er en temperaturføler.

Foto: Henrik Volkersen, H.V.Lukas

Varmeledning og atomar uorden

Fordi krystallografi er afhængig af en ordnet (= krystallinsk) materialestruktur, er dens metoder naturligt meget følsomme overfor selv små forringelser af strukturel orden. Det kan fx være defekter eller spændinger i krystalgitteret skabt af atomer, der er "for store" til den plads, de prøver at optage, eller dannelse af små enklaver af rivaliserende strukturer på nano- eller mikroskala, som korrumpere den overordnede orden. Eksemplerne er mange.

Hvis atomar uorden introduceres med omhu, er det et værktøj til at minimere varmeledningsevnen i et materiale, hvilket er en af de vigtigste forudsætninger for at fremstille et godt termoelektrisk materiale. Det skyldes, at varme, som vi oplever det, er vibrationer i atomernes verden. Disse vibrationer kan forplante sig imellem naboatomer og dermed brede sig rundt i hele materialet som et mekanisk bølge-fænomen på nanoskala. Bølgerne kaldes *fononer*, fordi de kan beskrives som pseudo-partikler ligesom lys, der også kan forstås både som bølger og partikler. For at fononer kan udbrede sig effektivt, kræver det imidlertid, at naboatomer vekselvirker godt henover store afstande i materialet. Denne situation kan materialekemikerne spolere ved fx at introducere strukturel uorden.

Uorden, defekter, fremmedlegemer eller overgange mellem krystaldomæner spreder fononer og ødelægger deres fremfærd – lidt tilsvarende klynger af siv i en fiskedam, som også

effektivt kan blokere, sprede og dæmpe bølger i vandet. Dermed mindskes varmeledningsevnen, nogle gange meget dramatisk. Det sker vel at mærke, uden at den elektriske ledningsevne samtidigt forringes nævneværdigt. Heldigvis, for ellers var de termoelektriske egenskaber blevet ødelagt.

Termoelektriske materialer i 2D

En anden måde at begrænse varmeledningsevne i termoelektriske materialer *uden* at forringe deres elektriske ledningsevne og dermed forbedre deres zT -værdi, er at gøre den fysiske facon ultra-tynd. Fononer spredes nemlig ikke kun af atomar uorden, men også af selve materialets fysiske overflade, præcis som havets bølger brydes, reflekteres og mister kraft, når de slår imod kajen ved havnefronten.

Ved at lave termoelektriske materialer, som blot er få mikrometer tykke (eller tyndere endnu), kan fononerne ikke brede sig særlig langt uden at komme i konflikt med en af materialets to overflader. Den konstante brydning og interferens begrænser deres fremfærd – og dermed varmeledningsevnen – voldsomt i alle retninger parallelt med materialets overflade. Elektroner er derimod langt mindre afhængige af materialets facon og kan derfor brede sig uhindret, forudsat at materialet i sig selv er syntetiseret med god elektrisk ledningsevne.

elektron-tæthederne, som det kaldes, er nøglen til at forstå de bindingsforhold, som holder materialet sammen og som er ophav til alle dets egenskaber – inklusive elektrisk ledningsevne, varmeledningsevne og termokraft.

Afgørende uorden

Ved *Center for Materialekrystallografi (CMC)* på Aarhus Universitet forsker vi intenst i termoelektriske materialer med et stærkt fokus på bæredygtighed. Det er nemlig ikke nok at finde gode termoelektriske materialer – de skal også bestå af grundstoffer, som er nogenlunde let tilgængelige. Et af de bedste termoelektriske materialer til dato er fx bismuth-tellurid, Bi_2Te_3 . Trods gode egenskaber får det imidlertid svært ved at hjælpe vores fremtidige samfund, simpelthen fordi grundstoffet tellur (Te) er sjældent. Det gør Bi_2Te_3 dyrt at fremstille og håbløst at kommercialisere på stor skala, fordi råstofpriserne ville eksplodere.

Ved CMC har mange års forskning imidlertid båret frugt i form af materialet zink-antimonid, Zn_4Sb_3 , der er velegnet til *energy harvesting*. I termogeneratorer komplementeres Zn_4Sb_3 af den kendte termoelektriske forbindelse magnesium-silicid-stannid, $\text{Mg}_2\text{Si}_x\text{Sn}_{1-x}$. Begge har nemlig gode termoelektriske egenskaber indenfor samme temperaturområde og består af grundstoffer, der er let tilgængelige. Det betyder, at produktionsprisen er (og forbliver) lav. Udviklingen af Zn_4Sb_3 har været et mønstereksempel på, hvordan krystallografisk forståelse og teknologisk anvendelse går hånd i hånd.

Den gode termoelektriske ydeevne af Zn_4Sb_3 skyldes

des en usædvanlig lav varmeledningsevne, som udspringer af nogle unikke strukturelle forhold i materialet. De blev klarlagt i 2004 af fem internationale forskere, heriblandt Mogens Christensen, der nu er adjunkt ved CMC, og professor Bo Brummerstedt Iversen, som leder centeret.

Det var bl.a. kendt fra tidligere, at Zn_4Sb_3 faktisk indeholder mere zink end hvad materialets struktur giver "plads til" – sammensætningen burde hedde $\text{Zn}_{3,6}\text{Sb}_3$. Misforholdet forklaredes tidligere ved, at zink-atomer i et vist omfang også kunne findes på de positioner i krystalgitteret, der normalt besættes af antimon-atomer. Forskerholdet beviste imidlertid, at dette billede er forkert. De overskydende zink-atomer er i stedet "klemt ind" imellem de regulære atompositioner, der er typiske for strukturen. Det giver en uorden i krystalgitteret, hvilket skaber interferens iblandt de atomare vibrationer, som er hovedmekanismen bag formidling af varme igennem materialet. De uordnede zink-atomer kan simpelthen ikke "vibrere i takt" med resten af strukturen. Det ligger til grund for den lave varmeledningsevne af Zn_4Sb_3 og dermed også dets gode termoelektriske egenskaber.

Hvad så nu?

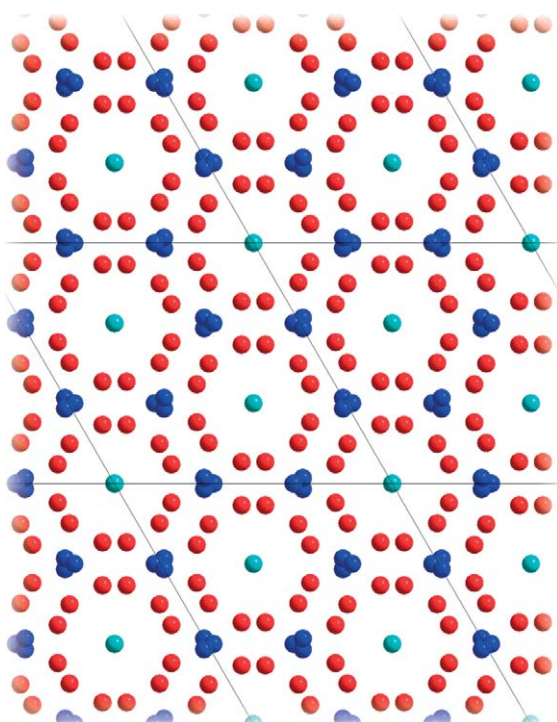
De seneste år er Zn_4Sb_3 blevet udforsket yderligere ved CMC i takt med udviklingen af avancerede krystallografiske metoder og synteseteknikker. Patentet på materialet er nu grundlaget for en nystartet dansk virksomhed – TEGnology a/s, beliggende ved Vejle ("TEG" er en forkortelse af *Thermo-Electric Generator*). Produktionen af generatormoduler er så småt ved at starte op side om side med et fortsat forskningsarbejde, både indenfor firmaet selv og ved CMC. Indsatsen støttes af Danmarks Grundforskningsfond (der har bevilliget CMC), af regionen samt af flere af de danske forskningsråd og fonde.

En af de interesserede kunder hos TEGnology er bilindustrien, hvor man har en vision om at montere termogeneratorer på bilernes varme udstødningsrør. Udstødningsgassen fra en bilmotor er nemlig flere hundrede grader varm. Det kan generere så meget termoelektrisk strøm, at benzinøkonomien forbedres med op til 10 %.

Perspektiverne for de nye materialer er imidlertid langt større, da det meste af vores samfunds spildvarme findes indenfor temperaturvinduet 200-400°C, hvilket er ideelt for de nye termoelektriske materialer. Cementovne, små kraftvarmeanlæg, fabrikkorskostene m.m. vil alle være potentielle aftagere for den termoelektriske teknologi. Med TEG-modulernes evne til at yde mere end 20 års vedligeholdelsesfri fuldtidsdrift besidder de et solidt potentiale til at understøtte en fremtidig, bæredygtig energiproduktion. ■

Mange sammenhængende enhedsceller af Zn_4Sb_3 . Strukturen er tegnet uden de kemiske bindinger og ses ned langs en af de ordnede, krystallografiske akser i materialet. Røde atomer er zink, de blå og turkis atomer er antimon (uordnet zink vises ikke). De sorte linjer markerer overgangene mellem enhedscellerne.

Grafik: Anders Blichfeld





Ph.d.-studerende Kasper Borup i CMC's analyselaboratorium for fysiske materiale-egenskaber, i færd med at montere kredsløb på et kommercielt termogenerator-modul.

Foto: Niels Jørgen Hansen

Kvalitetsfaktoren

Når man udvikler nye termoelektriske materialer, er det essentielt at kunne bestemme, hvor gode (eller dårlige) de er i forhold til andre, eksisterende materialer. Siden elektrisk ledningsevne, varmeledningsevne og termokraft er de tre relevante egenskaber for termoelektriske materialer, har man kombineret disse tre i én kvalitetsparameter, kaldet zT , fastlagt ved formlen:

$$zT = \frac{S^2 \sigma}{\kappa} T$$

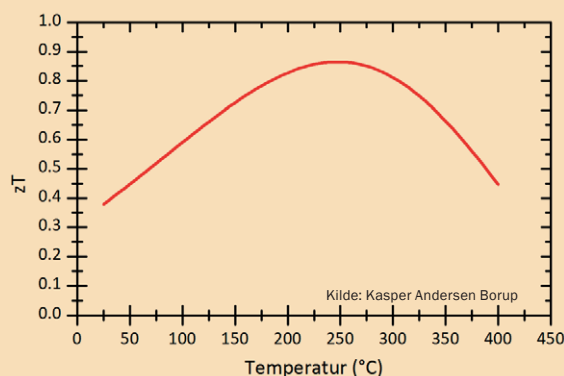
Dette er den kritiske parameter, der indgår i ligningen for effektiviteten af et termoelektrisk modul. Termokraften indgår ved Seebeck-koefficienten S i anden potens og ganges sammen med den elektriske ledningsevne (σ). I nævneren findes den termiske ledningsevne κ , som skal være så lav som muligt for at hele brøken – og dermed zT – kan blive så stor som muligt. Kommercielle termoelektriske materialer har i dag $zT \sim 1$. Zn_4Sb_3 har fx en værdi på $\sim 0,9$. Forskerne har dog håb om at kunne udvikle materialer med $zT > 3$. De vil kunne revolutionere store dele af vores teknologi og samfund – fx hele vores køle/fryse-teknologi i husholdning såvel som industrien.

At høste energi fra spildvarme

Det er ikke nogen simpel sag at høste brugbar elektrisk energi ud af spildvarme. For at få så meget strøm som muligt burde man logisk (ifølge termodynamikken) ønske sig at gøre temperaturforskellen henover termogenerator-modulet så stor som muligt. Desværre har alle termoelektriske materialer et vist temperaturinterval, hvor de virker optimalt – hvor deres zT faktor har sit maksimum. Det hænger sammen med,

at de bagvedliggende materialeegenskaber alle varierer med temperatur på forskellige måder. Det optimale temperatur-område er aldrig mere end et par hundrede grader i udstrækning. Det betyder, at et termoelektrisk materiale altid skal udvikles omhyggeligt til dets forventede anvendelse, nemlig det forventede temperaturvindue, det skal fungere indenfor. Meget af forskningsindsatsen og ingeniørkunsten bag termogeneratorene retter sig derfor imod at få materialet til at spille sammen med en række konkrete anvendelsesområder.

Zn_4Sb_3 og $Mg_2Si_xSn_{1-x}$ har den fordel, at deres zT -maksima ligger indenfor temperaturintervallet 200-400°C. Størstedelen af de kilder til spildvarme, som vores samfund byder på, udøser deres varmeenergi netop indenfor dette interval.



Kvalitets-faktoren " zT " for Zn_4Sb_3 ved forskellige temperaturer. Som det ses er materialet mest effektivt i temperaturintervallet 200-300°C.



Genindvinding af sølv baner vejen for plastsolceller

Af Kasper Hagen Skovse,
DTU Energikonvertering
Kaspsk@dtu.dk

Opsætning af et stort antal af plastsolpaneler kunne bidrage til at løse verdens energikrise. Til gengæld ville de mange solpaneler kræve enorme mængder af sølv, da sølv er en essentiel bestanddel af solcelle-elektroderne i plastsolceller. Sølv er også et ædelmetal, hvilket påvirker både produktionsomkostninger og energitilbagebetalingstiden ved masseproduktion af plastsolceller.

Et dansk forskningshold under ledelse af professor Frederik C. Krebs fra DTU Energikonvertering har nu løst dette økonomiske og miljømæssige problem ved at udvikle en metode, der kan genindvinde op til 95 % af sølvet. Opdagelsen ventes at åbne op for plastsolcellernes kommercielle gennembrud.

Plastsolceller er billige at fremstille, utrolig nemme og hurtige at sætte op og tilbagebetalingstiden er kun et halvt år eller mindre, afhængig af breddegraden. Men selv om anerkendte forskere spår, at op til 10 % af hele verdens energibehov kunne dækkes af plastsolceller, har det kommercielle gennembrud ladet vente på sig. Ikke mindst fordi behovet for sølv ville blive enormt, hvis plastsolcellers potentiale blev realiseret.

»Sølvet udgør kun 1-2 procent af totalvægten af plastsolceller, men hvis plastsolcellerne skal dække op til 10 % af verdens energibehov, så ville der komme en større efterspørgsel, der ville få sølvpriserne til at stige voldsomt«, siger seniorforsker Mikkel Jørgensen, DTU.

Denne hindring har solcelleforskerne på DTU nu fjernet. I tidsskriftet *Energy & Environment Science* beskriver forskerne, hvordan de ved hjælp af både simple og billige metoder kan genindvinde og derpå genbruge sølvet.

Metoden er simpel og effektiv: En helt almindelig industrimakulator makulerer det brugte plastsolcellemodul til strimler, strimlerne puttes i et salpetersyrebad, og sølvet udfældes som sølvklorid. Metoden kendes fra røntgenfilm-industrien. Ca. 20 % af verdens sølvforbrug bruges til produktion af røntgenfilm, hvor genindvindingen består i at brænde filmene og behandle asken med syre. Ædelmetaller i elektronikbranchen, herunder sølv og guld, genindvindes også ved brug af syre, så metoden er anerkendt.

»Vi har med vilje valgt en meget simpel og billig metode, som under laboratorieforhold genindvinder op til 100 % af alt sølvet. Det kan ikke udelukkes at tab kan ske under den operationelle fase, fx som konsekvens af stormvejr, men vi taler om at genindvinde mindst 95 %. Det måles på tilbagebetalingstiden samt på miljøet, hvor vi nu har en "cradle to cradle-metode", hvor sølv anvendes og genanvendes igen og igen«, siger professor Frederik C. Krebs, som mener, at affaldsbehandling og genbrug altid bør være en del af tankegangen, når man udvikler og forsker i noget.

Den nye metode til genindvinding af sølv sænker energi-tilbagebetalingstiden på plastsolceller med ca. 13 procent. ■

↑ Efter et bad i salpetersyre kan sølvet udvindes fra strimlerne.

↓ En helt almindelig industrimakulator makulerer det brugte plastsolcellemodul til strimler.

Fotos gengivet med tilladelse fra the Royal Society of Chemistry



yourniversity

@hudtloff

Lab i Molekylær Cellebiologi

#aarhusuni
#yourniversity

Your life. Your choice.
Yourniversity.dk

Gå på opdaagelse
før du søger optagelse
på Aarhus Universitet.



AARHUS UNIVERSITET

y

Hvorfor er antioxidanter sunde?



Antioxidanter fra frugt og grønt er godt for vores helbred. At disse stoffer er gavnlige, skyldes dog måske slet ikke, at de virker som antioxidanter. De har nemlig andre egenskaber, som kan forklare deres gavnlige effekt.

Vi ved alle, at det er sundt at spise mange frugter og grøntsager – det er blevet fortalt igen og igen i kampagner og i helse- og fitness-blade. Fx kan udviklingen af livstilssygdomme som hjerte-kar sygdomme, cancer, fedme og type 2 diabetes hæmmes ved, at vi spiser frugt og grønt.

Den gavnlige effekt af frugt og grønt tilskrives ofte deres høje indhold af antioxidanter – stoffer, som kan uskadeliggøre frie radikaler i blodet. Frie radikaler er meget reaktive og er derfor traditionelt blevet opfattet som farlige, da de potentielt kan skade kroppens celler og væv.

Ved sygdom og infektion er der ofte frie radikaler til stede, da disse er en naturlig del af det arsenal af stoffer, som vores eget immunforsvar bruger til at bekæmpe bakterier, virus og parasitter. Den proces, der sættes i gang, når immunforsvaret aktiveres, kaldes inflammation. Desværre er vores immunforsvar ikke kun godt til at forsvare sig imod virus og bakterier, det er også skadelig for kroppen selv. Noget man netop ser ved de nævnte

livstilssygdomme, hvor en kronisk inflammation har sat ind.

Et paradigme uden grundlag

I mange år har man ment, at årsagen til frugt og grønts forebyggende virkning på livstilssygdomme skal findes i, at antioxidanterne i frugt og grønt uskadeliggør de frie radikaler og derved nedsætter risikoen for at udvikle disse sygdomme. Denne hypotese bliver kaldt for "antioxidant-hypotesen".

De seneste 10 års forskning har dog budt på flere og flere undersøgelser, som stiller spørgsmålstegn ved eller direkte modsiger antioxidant-hypotesen. Det har bl.a. ført til, at United States Department of Agriculture (USDA) i sommeren 2012 lukkede deres database med information om forskellige fødevarers antioxidant-kapacitet – et redskab, som var blevet brugt til at vurdere den sundhedsmæssige fordel af en fødevarer. Argumentet for lukningen var mangel på data fra undersøgelser i mennesker, som kunne understøtte antioxidant-hypotesen.

Forfatteren



Casper Kielland er cand. scient. i lægemiddelvidenskab og bachelor i nanoscience fra Københavns Universitet.
Tlf: 2097 2008
casper@kielland.dk

Inflammation

Immunforsvaret består af en lang række mere eller mindre specialiserede celler. Der er celler, som fungerer som vagtposter rundt omkring i alle kroppens forskellige væv, hvor de overvåger alt, hvad der kommer ind af potentielt farlige bakterier etc. Når en skadelig bakterie trænger sig på, kan immuncellerne reagere ved at igangsætte en inflammatorisk respons. Inflammationen sætter gang i et væld af mekanismer, som dræber og fjerner de indtrængende mikrober.

Når et inflammatorisk respons sættes i gang, er der hundrede, måske tusindvis, af mekanismer og signaler som sættes i gang af centrale celler. For at kunne starte en inflammation skal immuncellerne først genkende bakterien, virusset, svampen eller parasitten. Genkendelsen sker typisk på overfladen af immuncellerne via receptorer. Immunceller kan have mange forskellige receptorer på overfladen, og disse genkender specifikke molekylære mønstre på fx bakterier.

Når en skadelig bakterie genkendes, aktiveres signalmolekyler inde i cellen, som aktiverer andre molekyler som igen aktiverer andre molekyler i en kompleks signalkaskade. Det betyder, at aktiveringen af en enkelt receptor på cellens overflade munder ud i et forstærket signal med flere tusinde molekyler involveret. Signalkaskaden munder ud i dannelsen af nye sæt signalmolekyler i cellekernen, som skal transporteres ud af cellen til omgivelserne for at igangsætte inflammationen.

Tidligt i inflammationen er de signalmolekyler, der transporteres ud af cellen, pro-inflammatoriske. Det vil sige, at de driver inflammationen, som består af tilkaldelse af endnu flere immunceller og skabelsen af et bakteriefjendtligt miljø.

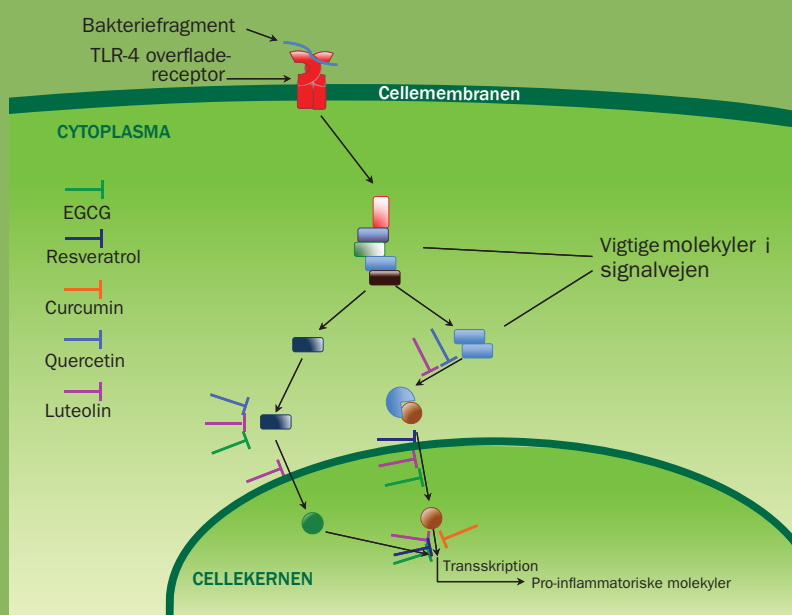


Illustration efter Takeuchi & Akira (2010).

Figuren viser signalvejen for en af de bedst kendte receptorer på overfladen af immunceller – TLR-4. Signalvejen bliver aktiveret, når et bakteriefragment bliver genkendt af TLR-4-receptoren. Denne aktivering forplanter sig i en kaskade gennem cellen via mange forskellige molekyler (de farvede rektangler) og munder ud i transskription af DNA'et og dannelsen af pro-inflammatoriske molekyler. På figuren er angivet, hvor polyfenoler har vist sig at hæmme en molekylær vekselvirkning eller direkte et molekyle, som er nødvendig for signalets videreførelse. Koden til de forskellige polyfenoler findes ude til venstre.

Mange antioxidanter er polyfenoler

Der tegner sig efterhånden et mere komplekst billede af, hvilke roller frie radikaler og antioxidanter spiller for vort helbred. Det er ikke sikkert, at alle antioxidanter fungerer som antioxidanter, når de først er blevet indtaget fra kosten gennem tarmen. Logisk set er visse stærke antioxidanter fra frugt og grønt nemlig så reaktive, at de er blevet omdannet, før de når ind i vore blodbaner og kan fjerne radikaler. Til gengæld viser undersøgelser, at antioxidanter kan påvirke meget centrale mekanismer i vore celler, som har betydning for regulering af immunsystemet.

Det var indgangsvinklen til at skrive mit kandidatprojekt. Målet var at kunne beskrive de helbredsmæssigt gavnlige egenskaber af antioxidanter ud fra hypotesen, at de *ikke* fungerer som antioxidanter, men regulerer helbredet på anden vis.

De fleste antioxidanter fundet i frugt og grønt hører ind under en enorm gruppe af stoffer, kaldet polyfenoler. Planter danner polyfenoler som en del af deres eget immunforsvar. Begrebet "polyfenol"

dækker over en gruppe af mange tusinde forskellige molekyler. De har alle det fælles træk, at molekylets grundform består af mindst to aromatiske ringe, som hver har koblet en alkoholgruppe (en –OH-gruppe) på (se figur på næste side).

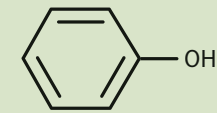
Vi har kun detaljeret viden om nogle få polyfenoler. I mit projekt tog jeg udgangspunkt i fem af de bedst beskrevne polyfenoler: quercetin, resveratrol, curcumin, luteolin og catechinerne, hvoraf den mest interessante har det halsbrækkende navn epigallocatechingallat eller blot –EGCG.

Jeg forsøgte ud fra litteraturstudier at kortlægge, hvordan disse polyfenoler påvirker nogle af de mest centrale cellulære mekanismer i menneskets tidlige immunrespons.

Polyfenoler og immunforsvaret

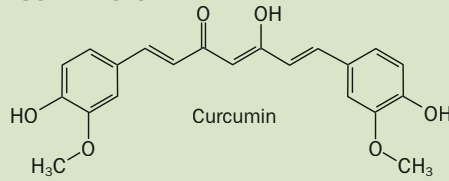
Adskillige *in vitro* studier – dvs. undersøgelser direkte i celler i en petriskål – peger på, at polyfenoler kan påvirke de signalveje, hvis aktivering er vigtig for at danne pro-inflammatoriske molekyler. Pro-

Kendte polyfenoler



En fenolgruppe

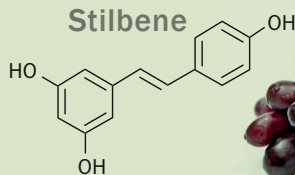
Curcuminoid



Curcumin



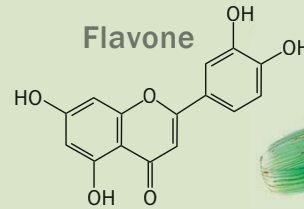
Karry



trans-resveratrol



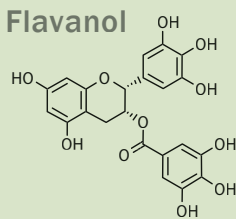
Røde vindruer



Luteolin



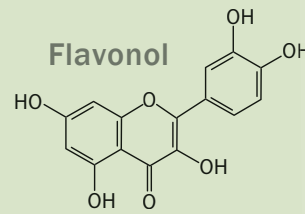
Selleri



(-)-Epigallocatechin-3-O-gallate (EGCG)



Grøn te



Quercetin



Løg

Eksempler på strukturen for nogle af de mest velbeskrevne polyfenoler samt de fødevarer, de findes i. Øverst til venstre ses den kemiske struktur for en fenolgruppe, som er karakteristisk for polyfenoler.

Kilder: Gradisar et al (2006), Crozier et al (2009) og Quideau et al (2011).

Polyfenoler i planter

Polyfenoler findes i alle planter som en naturlig del af plantens eget immunforsvar. De bliver dannet, når planten eller frugten bliver udsat for sygdomsangreb og som beskyttelse mod UV stråling og hårdt vejr. Altså afhænger polyfenol-indholdet i en plante, frugt eller bær af mange forskellige faktorer som varierer fra plante til plante og endda fra frugt til frugt på samme træ.

Der er derfor ikke nogen konkret regel for, hvilke planter der indeholder mest og derfor kan opfattes som mest sund. Der er dog en tendens til, at mørke bær og citrusfrugter samt krydderurter og mange grøntsager indeholder store mængder

af en eller flere typer polyfenol. Her er en kort liste over planter, som vi får i kosten til daglig:

- Grøn te og kakao er specielt rige på catechiner som ECGC
 - Krydderier som karry, ingefær, nelliker og kanel
 - Krydderurter som persille, oregano, rosmarin og pebermynte
 - Stort set alle typer bær indeholder store mængder polyfenol specielt solbær, blåbær og tranebær
 - Alle typer citrusfrugter er også gode kilder, hvor frugtkødet kan bestå af op til 60% polyfenol
 - Til sidst kan nævnes selleri, porrer og broccoli
- Mange spiseplanter er endnu ikke ordenligt undersøgt for deres indhold af polyfenol.

inflammatoriske molekyler er signalmolekyler, der transporteres ud af cellen tidligt i inflammationen, og som er med til at tilkalde endnu flere immunceller for at afværge fx en invasion af bakterier.

Immuncellernes signalveje aktiveres via receptorer på cellens overflade. En klasse af receptorer kaldet "Toll-like" receptorer, eller TLR, er meget vigtig i aktivering af de mest centrale og velkendte signalveje i en immuncelle. Disse receptorer genkender et væld af forskellige molekyler på mange bakterier og vira. Toll-like receptorer sætter gang i

et antal signaler og dannelsen af pro-inflammatoriske molekyler. Signalvejen fungerer ved en lineær aktivering af mange forskellige molekyler.

Undersøgelser har vist, at polyfenoler kan virke hæmmende på disse signalveje ved at blokere/hæmme nogle af de molekyleres vekselvirkninger, som skal til for at lede signalet fra receptoren på overfladen ind til cellekernen. Tilstedeværelsen af polyfenoler kan derfor have en hæmmende effekt på dannelsen af pro-inflammatoriske molekyler ved at hæmme signalet, som skal starte dannelsen.

Polyfenoler virker også i "virkeligheden"

En ting er, hvad forskerne har set ved påvirkning af enkelte immunforsvars celler in vitro i højt kontrollerede forsøg med polyfenoler. Noget andet er, hvad der sker, når man giver polyfenoler til større dyr og ultimativt mennesker. Forsøg med bl.a. mus har vist, at polyfenoler har en overvejende gavnlige effekt på forskellige skadelige tilstande som cancer og fedme. Mængden af polyfenoler, som gives til musene i sådanne forsøg, ligger dog ofte over, hvad en normal kost indeholder. Derfor skal man være forsigtig med konklusionerne, idet de mindre mængder polyfenol i en naturlig kost måske ikke har samme synlige effekt.

Dog har et studie publiceret i *Nature* i 2006 beskrevet, hvordan resveratrol i mængder svarende til det daglige indtag hos mennesker, kan have en stærkt gavnlige effekt på en skadelig tilstand hos mus. I dette studie fik musene samtidigt med resveratrol en meget kalorierig kost, som kan medføre leverskader og fedme. Både helbred og overlevelse blev forbedret hos de mus, der fik resveratrol. Resveratrol er en af de bedst karakteriserede polyfenoler og findes i mange typer grøntsager, bl.a. røde vindruer.

Meget mere end antioxidanter

Selvom man ikke kan drage nogen entydig konklusion om polyfenolernes egenskaber, er tendensen, at de har en klar gavnlige effekt på nogle af vores vigtigste immunceller og den inflammationstilstand disse kan igangsætte. Det er derfor muligt, at det sna-

kere er denne gavnlige effekt af polyfenoler – fremfor deres antioxidative egenskaber – som gør det sundt at spise frugt og grønt. Polyfenoler i kosten kan simpelthen være med til at dæmpe en kroniske inflammation eller forhindre den i at opstå.

Selvom en enkelt lille dosis af et enkelt polyfenol ikke skulle have nogen mærkbar effekt, får man i sin daglige kost mange små doser af forskellige polyfenoler. Via synergieffekter kan disse mange doser tilsammen måske have en gavnlige virkning på en kronisk sygdomstilstand.

Er det så en gavnlige effekt, når det er bakterier, som er årsag til inflammationen? Man vil jo helst ikke have, at noget dæmper immunforsvarets reaktion mod bakterier, virus og parasitter. På det punkt bevæger vi os ud i det meget uvisse angående polyfenoler og de ekstremt komplekse mekanismer, der sættes i gang under en immunreaktion. For det er på ingen måde givet, at et polyfenol altid vil ned- eller op-regulere på samme måde, samme sted. Her er der nemlig alt for mange komplekse negative og positive feedback-mekanismer inde i cellerne selv, som påvirker og ændrer udfaldet af et, eller i virkeligheden, flere hundrede forskellige signaler.

En ting står dog klart: polyfenoler – eller antioxidanter, som vi normalt kalder dem – byder på meget mere, end det at være antioxidanter. Og højst sandsynlig giver deres dagligdags navn et forkert billede af, hvorfor de er gode for os. ■

Videre læsning:

Om immunforsvaret: Murphy, K., 2011. *Jane-way's Immunobiology (Immunobiology: The Immune System (Jane-way))* 8th ed. Garland Science.

Om USDAs database: <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=15866>

Om polyfenol kemi: Quideau, S. et al., 2011. *Plant Polyphenols: Chemical Properties, Biological Activities, and Synthesis*. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(3), pp.586–621.

Om polyfenoler og helbred: Crozier, A., Jaganath, I.B. & Clifford, M.N., 2009. *Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health*. *Natural Product Reports*, 26(8), pp.1001–1043.



RUC
Roskilde Universitet

Få en
naturvidenskabelig uddannelse,
der er lige så unik, som du er!

Se hvordan på ruc.dk/studievaelger

Åbent Hus
8. maj 2014

ruc.dk/besog



VÆLG DEN RIGTIGE UDDANNELSE

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

- Blive studerende for en dag
- Besøge os med din klasse
- Se film om uddannelserne

Læs mere om vores uddannelser og dine muligheder på science.ku.dk/ba

Oplev 22 natur- og biovidenskabelige bacheloruddannelser på Københavns Universitet:

Biokemi * Biologi * Biologi-bioteknologi * Datalogi * Forsikringsmatematik * Fysiske fag * Fødevarer og ernæring * Geografi og Geoinformatik * Geologi-geoscience * Have- og parkingeniør * Husdyrvidenskab * Idræt * Jordbrugsøkonomi * Kemi * Landskabsarkitektur * Matematik * Matematik-økonomi * Molekylær biomedicin * Nanoscience * Naturressourcer * Naturvidenskab og it * Skov- og landskabsingeniør



Kinesisk malurt

– en medicinplante med potentiale

Bioaktive stoffer fra planten kinesisk malurt anvendes i dag med stor succes til malariabehandling verden over. Stofferne har dog mange andre mulige anvendelsesområder, fx som et alternativ til brugen af antibiotika i fjerkræproduktion.

Planten kinesisk malurt (*Artemisia annua*) er en éttårig plante, der kan blive op til 4 m høj, med meget tynde og fine bregne-lignende blade. Den har været anvendt som medicinplante i Kina i flere tusinde år mod malaria og andre lignende febersygdomme.

I 1970'erne lykkedes det kinesiske forskere at isolere det primære bioaktive stof i planten, artemisinin. Siden er interessen for planten kun vokset, idet artemisinin har vist sig at være det mest effektive lægemiddel identificeret til dato mod parasitter af arten *Plasmodium*, der er skyld i malaria.

Stofferne fra planten har dog mange andre spændende mulige anvendelsesområder. I USA er der således lavet forsøg, der viser, at artemisinin og afledte stoffer selektivt kan dræbe kræftceller. Spanske forskere har for nylig fundet, at stoffer afledt af artemisinin kan bruges i behandling af smitsom leverbetændelse (hepatitis A og B). Vi har været involveret i et dansk forskningsprojekt, der bl.a. har

undersøgt mulighederne for at bruge planten som et alternativ til visse antibiotika og midler til parasitkontrol i produktionen af fjerkræ.

Kemien i kinesisk malurt

Kinesisk malurt er en plante med en udpræget skarp og aromatisk lugt. Lugten skyldes den æteriske olie i planten, der hovedsagligt består af såkaldte mono- og sesquiterpener. Terpener er flygtige og almindeligt kendt som den primære stofgruppe i æteriske olier. Der er identificeret lidt over 270 forskellige komponenter fra den æteriske olie i kinesisk malurt, bl.a. kamfer. Kompositionen af den æteriske olie kan variere meget i forhold til hvilken variant af planten, der dyrkes, hvornår der høstes og ikke mindst, hvilke betingelser planten dyrkes under.

Som nævnt er kinesisk malurt mest kendt for sit indhold af stoffet artemisinin, der er en såkaldt sesquiterpenlaktone. En meget vigtig del af struktu-

Om forfatterne

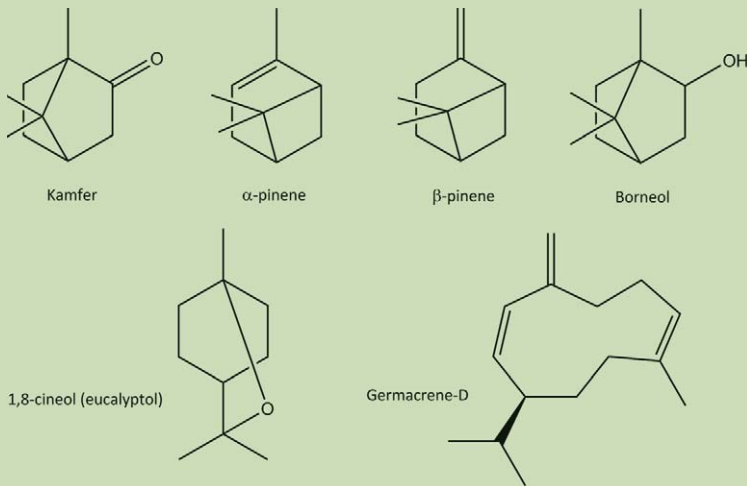


Xavier Fretté
xafr@kbm.sdu.dk

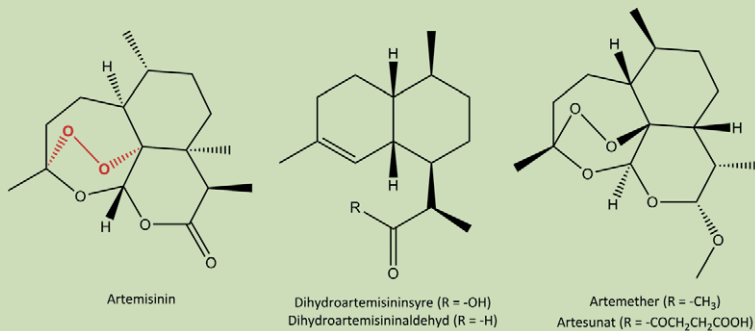


Kathrine Bisgaard Christensen
kbch@kbm.sdu.dk

Begge ved Inst. for Kemi-, Bio- og Miljøteknologi, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet



Kemiske strukturer af de primære mono- og sesquiterpener identificeret fra kinesisk malurt.



Kemiske strukturer af artemisinin og lignende stoffer fra kinesisk malurt samt de semisyntetiske derivater artemether og artesunat.

ren for artemisinin er den interne peroxidgruppe (C-O-O-C), som er helt essentiel for stoffets mange biologiske aktiviteter. Endvidere indeholder planten mange stoffer, der er afledt af artemisinin samt stoffer, der kan betegnes som forstadier til artemisinin i den biologiske syntese af stoffet. Indtil videre er der identificeret ca. 40 sådanne stoffer.

Artemisinin kan fremstilles syntetisk ved organisk syntese, men processen er ikke indtil videre rentabel. Derfor foregår produktionen stadig primært ved dyrkning af kinesisk malurt med efterfølgende ekstraktion og oprensning af artemisinin.

I kinesisk malurt er der også identificeret en lang række andre stoffer tilhørende stofgrupper som fenolske syrer, coumariner og flavonoider, der er meget almindelige at finde i alle typer af planter. Der er således rigtig mange forskellige kemiske stoffer i en plante, og det kan derfor være en større udfordring at identificere og oprense ét bestemt.

Den biologiske aktivitet

Den interne peroxidgruppe i artemisinin anses for at være afgørende for, at stoffet virker mod malariparasitter. Afledte stoffer af artemisinin, som ikke har denne peroxidgruppe, udviser nemlig ikke aktivitet mod malaria. Selvom man endnu ikke kender den præcise virkningsmekanisme, er det dog sandsynligt, at peroxidgruppen reagerer med jernet i hæmoglobins hæm-gruppe og efterfølgende danner frie radikaler og andre reaktive molekyler, herunder hydroxylradikaler (OH[•]) og superoxid anion (O₂⁻). Disse reaktive molekyler kan oxidere fedtstoffer og

Dyrkning af kinesisk malurt

Kinesisk malurt dyrkes verden over men primært i Kina og Vietnam, der står for ca. 70 % af markedet, og i Østafrika, der står for ca. 20 %. Beregninger fra 2009 vurderer, at der årligt produceres 140-180 ton artemisinin, som dog knap kan dække den stigende efterspørgsel. Indholdet af artemisinin i kinesisk malurt er meget lavt (0,01-1,4 % tørvægt), så ethvert tiltag, der kan øge mængden i planten, har både stor økonomisk og sundhedsmæssig betydning.

Man ved, at faktorer som sort, klima, gødningsniveau og høsttidspunkt kan have stor effekt på produktionen af planters sekundære metabolitter heriblandt den æteriske olie, fenolske komponenter osv. Ligeledes kan behandlingen af plantematerialet efter høst og den måde, det ekstraheres på, påvirke udbyttet af et ønsket stof signifikant.

Seniorforsker Kai Grevsen ved Aarhus Universitet har i et forsøg med to nøje udvalgte sorter af kinesisk malurt vist, at planten sagtens kan dyrkes under vores klimaforhold og give et rigtig fint udbytte. Artemisinin-indholdet i tørrede blade var 1,3 – 1,5 % for de to arter og det teoretiske



andre komponenter i parasiternes membraner, så membranen går i stykker og dermed slås de ihjel.

Ud over artemisinin findes der stoffer på markedet, der er lavet ved kemiske modifikationer af naturligt oprenset artemisinin. Disse stoffer indeholder også peroxidgruppen, og mange er faktisk mere effektive end artemisinin. Malaria-patienter, der får den af WHO anbefalede kombinationsbehandling for malaria på syv dage, bliver helt fri for *Plasmodium*-parasitten.

Artemisinin og afledte stoffer med intern peroxid-gruppe har også vist sig at kunne slå kræftceller ihjel, og man mener, at virkningsmekanismen grundlæggende er den samme. Fordi cancerceller deler sig så hurtigt, har de et højere jernindhold end normale celler, da jern bruges i forbindelse med kopiering af DNA. Derfor er kræftceller mere følsomme overfor artemisinin end kroppens normale celler.

Æteriske olier er kendt for at virke antimikrobielt. Fx kan man tilsætte krydderurter som timian eller rosmarin til fødevarer for at begrænse væksten af bakterier og skimmelsvampe og på den måde forlænge fødevarernes holdbarhed.

I forsøg med celler i reagensglas er det blevet vist, at kamfer hæmmer væksten af bakterien *Streptococcus aureus*. Derfor kan man forvente, at kinesisk malurt, som bl.a. indeholder kamfer, også vil vise denne antibakterielle aktivitet. Man har da også kunnet vise, at ekstrakter af kinesisk malurt i forskellig grad har antimikrobielle aktiviteter. Forsø-



Kinesisk malurt (*Artemisia annua*). Planten er også kendt under navne som kinesisk bynke eller étårig bynke og er beslægtet med bl.a. gråbynke (*A. vulgaris*), have-malurt (*A. absinthium*) og estragon (*A. dracuncululus*). Oprindeligt stammer planten fra det nordlige Kina og Mongoliet. Det kinesiske navn er Qing Hao, som betyder grøn urt.

Brugen af "artemisininer" i Danmark

Artemisinin og stoffer afledt heraf er i dag et af de mest effektive våben mod malaria, vi kender. Stoffene anvendes i flere lægemidler mod malaria. I Danmark er der dog pt. kun et enkelt godkendt lægemiddel (Eurartesim), som indeholder et derivat (dvs. et afledt stof) af artemisinin. Det blev godkendt i 2011.

Når artemisinin-baserede præparater anvendes til behandling af malaria, bruges de som hovedregel i kombination med et andet lægemiddel, primært for at undgå udvikling af resistente malariaparasitter. Denne behandlingsform kaldes for ACT (Artemisinin Combined Therapy) og anbefales af Verdenssundhedsorganisation WHO.

udbytte op til 60 kg artemisinin pr. hektar. Til sammenligning er artemisinin-indholdet i planter dyrket i Vietnam under 0,7 % tørvægt og det teoretiske udbytte ca. 20 kg pr. hektar. På grund af tab ved ekstraktion og oprensning får man dog kun 7,5 kg ud pr. hektar.

Da kinesisk malurt bruger artemisinin som et slags forsvarstof har ph.d.-studerende Anders Kjær samt seniorforsker Martin Jensen fra Aarhus Universitet også undersøgt, om man ved at stresse planten kemisk eller fysisk kan lokke den til at producere mere af stoffet. Det viste sig desværre ikke muligt, formentlig pga. planternes alder.

Til gengæld kan tørringen af plantematerialet før det ekstraheres i høj grad påvirke indholdet af artemisinin. Et forsøg har således vist, at tørring i sollys omdanner 94 % af dihydroartemisininsyren (der er en forløber for artemisinin) i planten til netop artemisinin. Det stemmer fint overens med, at man i Vietnam lader planten tørre udendørs, inden den ekstraheres.

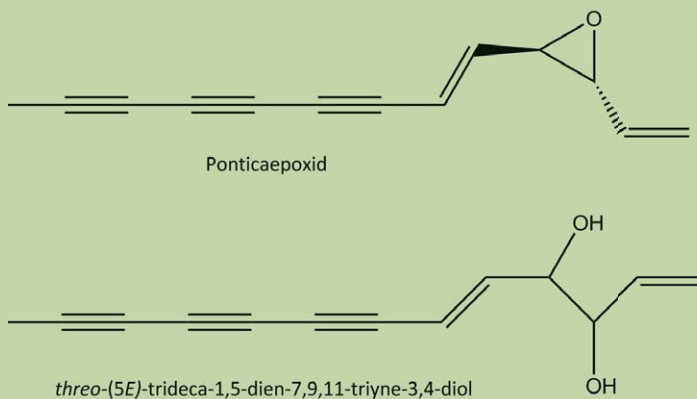
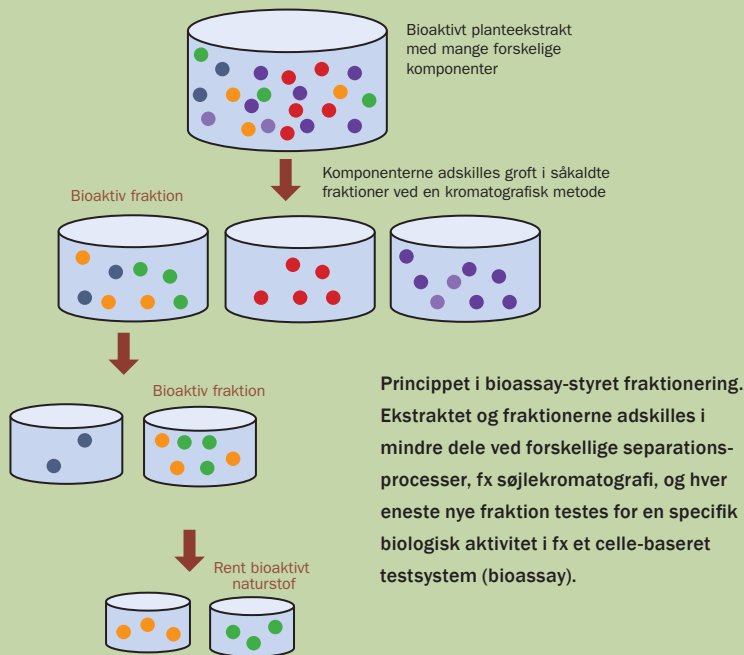
En ældgammel opskrift

Anvendelsen af kinesisk malurt (*Artemisia annua*) som medicinalplante er så vidt vides beskrevet første gang i nogle gamle skrifter fra 168 f.Kr., som blev fundet i en arkæologisk udgravning i Kina. I teksterne var der over 200 forskellige opskrifter på traditionelle plante-baserede medicinske præparater mod malaria og andre lignende sygdomme.

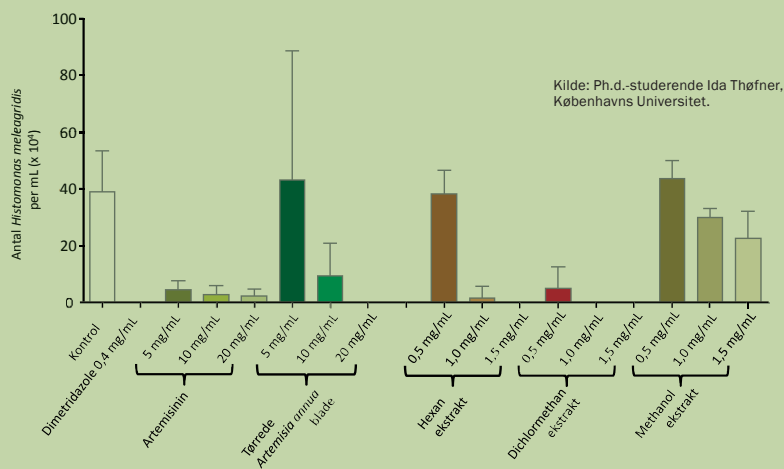
Under Vietnamkrigen i begyndelsen af 1960'erne påbegyndte den kinesiske hær et projekt med det formål at finde et middel mod malaria, da de gerne ville være mere resistente over for sygdommen end amerikanerne. Forskere gik i gang med at afprøve opskrifterne fra de gamle skrifter, og i 1971 fandt de én, der var effektiv mod malariaparasitter: Te lavet på blade fra *Artemisia annua*. Dette medførte, at man fik isoleret det primære bioaktive stof artemisinin, og derefter blev det første kliniske studium med artemisinin udført i Kina i 1979. Kinesisk malurt og dens indholdsstoffer blev hurtigt udbredt til resten af verden, der også efterspurgte midler til bekæmpelse af malaria. Tidligere havde man anvendt naturstoffet kinin (quinin), der er udvundet fra barken på Kinatræet. Men 2. Verdenskrig satte en stopper for adgangen til råstofferne, der primært kom fra Indonesien.



Gamle skrifter fra 168 f.Kr.



Kemiske strukturer for de to polyacetylen, der er identificeret fra *Artemisia annua*.



Antal celler af parasitten (*Histomonas meleagridis*) i en celle-baseret test med forskellige koncentrationer af stof og ekstrakt. Fra venstre viser diagrammet: Ingen tilsætning (kontrol), det tidligere anvendte lægemiddel mod *H. meleagridis* (dimetridazole), artemisinin, hexan-, dichlormetan- og metanol-ekstrakt af *Artemisia annua* i forskellige koncentrationer.

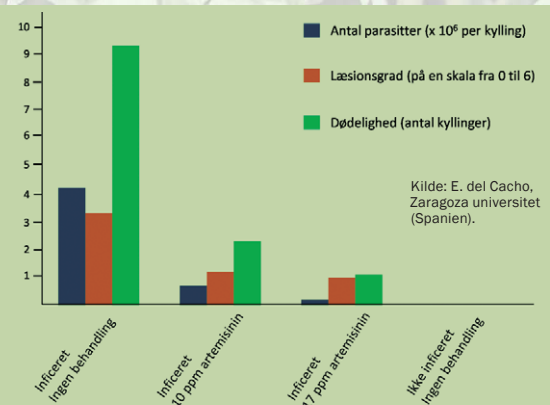
gene har dog ofte ikke identificeret de specifikke komponenter, der er årsag til den observerede aktivitet – så man kan altså ikke konkludere, at det netop er kamfer, der er årsagen.

Fjerkræ og kinesisk malurt

At kinesisk malurt indeholder stoffer, der kan bekæmpe både bakterier og parasitter, var baggrunden for et dansk forskningsprojekt, der blev sat i gang for fem år siden i et samarbejde mellem forskergrupper fra Syddansk Universitet, Aarhus Universitet, Københavns Universitet samt DHI, finansieret af Det Strategiske Forskningsråd.

Projektet gik ud på at undersøge, om man kan forhindre alvorlige parasit- og bakteriefremkaldte sygdomme hos fjerkræ ved at tilsætte tørrede blade eller ekstrakter af kinesisk malurt til foderet. Sygdommene coccidiose og nekrotiserende enteritis forårsager store tab og dyrevelfærdsproblemer i opdræt af høns og kyllinger, mens sygdommen blackhead er en frygtet sygdom med høj dødelighed indenfor opdræt af kalkuner. Sædvanligvis behandles disse sygdomme med antibiotika eller antiparasitære midler, men det giver problemer med udvikling af mikrobiel resistens, når der anvendes fx antibiotika. Der findes faktisk i øjeblikket ingen godkendt behandlingsmulighed for blackhead, mens behandlingsmulighederne for de to andre sygdomme er truet af et muligt forbud pga. en ændring i europæisk lovgivning. Derfor er der stor interesse for at finde alternative behandlingsmuligheder.

Nekrotiserende enteritis skyldes bakterien *Clostridium perfringens* mens parasitter er årsag til coccidiose og blackhead. De skyldige parasitter er hhv. arter af parasitslægten *Eimeria* og *Histomonas meleagridis*, som begge er tæt beslægtet med malaria-parasitten *Plasmodium falciparum*. Derfor er der grund til at antage at artemisinin og artemisinin-lignende stoffer også vil virke mod disse sygdomsfremkaldende mikroorganismer.



Effekt af behandling med artemisinin på antal af parasitter, dødelighed og læsionsgrad i tarmen hos kyllinger inficeret med parasitten *Eimeria tenella*.

Celleforsøg viser effekt

For at afgøre, om kinesisk malurt har en effekt på de ovennævnte bakterier og parasitter, blev der i første omgang lavet ekstrakter af planten, som blev testet på celler af bakterier og parasitter. Ekstrakterne blev lavet af ph.d. studerende Elise Ivarsen fra Syddansk Universitet ud fra opløsningsmidlerne hexan, metanol og dichlormetan. Hermed opnår man, at stofferne i planten ekstraheres i tre overordnede grupper efter polaritet – dvs. om de er fedt- eller vandopløselige. Det giver et første fingerpeg om, hvad det er for en type stoffer, der har en effekt på mikroorganismene.

Ved at bruge en oprensningsprocedure kaldet bioassay-styret fraktionering er det desuden muligt at identificere og karakterisere enkelte bioaktive stoffer fra de komplekse ekstrakter. De identificerede stoffer kan så også testes enkeltvis på de sygdomsfremkaldende mikroorganismer.

I celleforsøgene med bakterier, udført af lektor Ricarda Engberg fra Aarhus Universitet, viste både hexan- og dichlormetan-ekstrakterne aktivitet overfor bakterien *C. perfringens* ved koncentrationer på hhv. 170 og 270 ppm. Fra hexan-ekstraktet lykkedes det bl.a. at identificere stoffet ponticaepoxid, en såkaldt polyacetylen, der viste aktivitet ved 200 ppm. Mod forventning viste kamfer ingen aktivitet mod *C. perfringens* i koncentrationer helt op til 1.600 ppm, selvom stoffet er kendt for sin antimikrobielle aktivitet.

Ved celleforsøg med Blackhead-parasitten *H. meleagridis*, udført af ph.d. studerende Ida Thøfner fra København Universitet, var det igen hexan- og dichlormetan-ekstrakterne, der udviste aktivitet. Dichlormetan-ekstraktet var faktisk mere effektivt end ren artemisinin. Det skal dog bemærkes, at selvom artemisinin er aktiv mod *H. meleagridis*, er det ikke lige så aktivt som det nu forbudte præparat (dimetridazole), der tidligere blev anvendt mod parasitten.

Artemisinin i stedet for antibiotika?

Cellebaserede forsøg kan selvfølgelig ikke stå alene – det afgørende er at afgøre, om stofferne også virker på mikroorganismene i levende kyllinger og høns. Den første udfordring var her at få kyllingerne til at æde foder med ekstrakter af kinesisk malurt, da artemisinin er ekstremt bittert og ekstrakterne har en kraftig aromatisk duft. Fordringsforsøg med raske dyr udført af Ricarda Engberg fra Aarhus Universitet viste da også, at kyllinger ikke kan klare et for højt indhold af kinesisk malurt i foderet. Grænsen for tilsætning ligger ved 200 mg pr. kg foder, et højere indhold betød, at kyllingerne tabte vægt under forsøgene.

Det viste sig, at tilsætningen af hexan-ekstraktet i foderet til kyllinger inficeret med *C. perfringens* havde en effekt på denne bakterie, da både antallet af bakterier i dyrenes tarmsystem og de læsioner, som bakterierne giver anledning til, var reduceret.

I de tilsvarende forsøg med kyllinger inficeret med coccidiose-parasitter, udført af Ida Thøfner fra København Universitet, blev det vist, at tilsætning af enten rent artemisinin eller dichlormetan-ekstraktet af kinesisk malurt, som har et højt indhold af artemisinin, gav anledning til en betydelig reduktion af parasitforårsagede læsioner i blindtarmen hos kyllingerne. Lignende forsøg udført med artemisinin i Spanien viser samme resultater. Selvom resultater fra begge fordringsforsøg med kyllinger ser lovende ud, var det dog ikke muligt med de givne behandlinger at gøre alle kyllingerne bakterie- eller parasitfri eller at fjerne symptomerne helt.

Før bekæmpelsen af bakterier og parasitter i kyllingeopdræt ved hjælp af kinesisk malurt kan blive virkelighed må der derfor mange flere forsøg til. Både for at kunne identificere og karakterisere de komponenter i planten, der er ansvarlige for den biologiske aktivitet og for at finde ud af, hvilke udtræk af planten der er de mest optimale som tilsætning til foderet. Fremtidige forskningsprojekter vil forhåbentligt afklare dette. ■

Yderligere læsning

Artemisinin – et effektivt lægemiddel mod malaria udvundet fra en kinesisk medicinplante, kap. 7 i BIOTEK 2 Anvendt bioteknologi (2012) K. Overgaard og S.G. Sommer (redaktører), L&R Uddannelse

Læs mere om projektet om fjerkræ og kinesisk malurt på hjemmesiden: www.artemisiaprojekt.dk

Produktion af artemisinin

Storskalaproduktion af artemisinin foregår primært i Kina og Vietnam. Ekstraktionen af artemisinin fra plantematerialet kan foregå med opløsningsmidler som dichlormethan eller hexan. Da hexan er billigere end dichlormethan bruger man oftest hexan, som også er nemt at fordampe. Plantematerialet behøver ikke at blive forarbejdet inden ekstraktionen, da artemisinin findes i små blærer (trichomer) på bladens yderside og dermed er lettilgængeligt.



Artemisia annua

Trichomer

Artemisinin

Ekstraktionen gentages tre gange, og efter hvert trin fjernes opløsningsmidlet ved destillation, således at det kan genbruges. Artemisinin oprenses herefter ved en række

processer såsom søjlekromatografi og krystallisation, og efter en sidste tørringsproces er de hvide krystaller klar til anvendelse.



En grønnere opdrætsfisk

- om matematik, tørring og fiskefoder

↑ Det er vigtigt at foderet når ud til fiskene og fordøjes i deres maver fremfor at synke for hurtigt til bunds eller at blive til smulder i overfladen.

Tørring af fiskefoder forbruger årligt på verdensplan energi svarende til elforbruget i 600.000 husstande. Bevæbnet med fysik og matematiske modeller forsøger artiklens forfatter at afkode, hvordan fiskefoder kan tørres på den mest energieffektive måde til fordel for miljøet og producentens bundlinje.

Et kritisk blik på energiforbruget bliver en stadig vigtigere konkurrenceparameter for virksomheder i en verden med stigende brændstofpriser samt skatter og afgifter, der er indført for at begrænse udledningen af CO₂. Helt ny og innovativ teknologi kan selvfølgelig være den langtidsholdbare løsning. Men nu og her er det ofte effektivisering af den eksisterende teknologi, der kan gøre en forskel for både miljøet og virksomhedernes bundlinje. Et sted, hvor der kan være store energigevinster at hente, er i produktionen af fiskefoder.

Der produceres årligt på verdensplan knap 50 mio. tons foder til fiskeopdræt, og det forventes i 2020 at være steget til 70 mio. tons for at kunne følge med efterspørgslen efter animalsk protein. I dag udgøres ca. 7 % af kosten af animalsk protein på verdensplan af opdrætsfisk. Som et led i produktionen af fiskefoder sænkes foderets vandindhold ved tørring med varm luft. Det sikrer foderets holdbarhed og reducerer transportomkostninger. Bagsiden er et meget stort energiforbrug.

Det termiske energiforbrug ved produktion af 1 ton foder til opdrætsfisk er i gennemsnit 186 kWh, hvoraf mindst 60 % kan tilskrives tørreprocessen. Det giver et årligt energiforbrug på 5,8 mia. kWh

– svarende til elforbruget i rundt regnet 600.000 parcelhuse. CO₂-udledningen herfor er omkring 1,2 mio. tons. Der er altså rigtig god grund til at kigge nærmere på tørreprocessen. Vi kan selvfølgelig ikke ændre på, at fysikkens love siger, at det kræver ca. 2.400 kJ at fordampe 1 kg vand. Men hos mange foderproducenter udgør dette dog kun halvdelen af energien til tørring – den samme mængde ryger i skorstenen sammen med den varme afgangsluft!

Miljø, kvalitet og økonomi i samspil

Mangel på viden og opmærksomhed på tørreprocessen giver ikke kun producenterne en høj gasregning. Tørreprocessen har også stor indflydelse på den tekniske kvalitet og holdbarheden af fiskefoderet. Hvis foderet går i stykker under transport til opdrætten ender det i bedste fald som tabt fortjeneste for fiskeopdrætteren og i værste fald som forurening af hav- og ferskvandsmiljøerne, hvor opdrætterne drives. 1 % spild foranlediger årligt udledning af op mod 500.000 tons organisk materiale, heraf omkring 5.000 tons organisk fosfor, udover altså en tabt fortjeneste på omkring 2,5 mia. kr.

Den vejlelsiske virksomhed Graintec A/S beskæftiger sig med design, rådgivning, installation og vedligehold af procesanlæg til produktion af fiske-



Forfatter

Anders Fjeldbo Haubjerg,
erhvervs-ph.d.,
Graintec A/S og
Syddansk Universitet
afh@graintec.com



foder og kæledyrsmad. De søsatte i fjor, i samarbejde med Syddansk Universitet, et erhvervs-ph.d.-projekt, der skal kaste lys over sammenhænge mellem de styrende parametre i tørreprocessen, energieffektivitet og den endelige tekniske kvalitet, herunder foderets mekaniske holdbarhed. Og her kommer jeg så ind i billedet som civilingeniør i kemi og nyslået ekspert i tørring.

Planter som fiskefoder

Som erhvervs-ph.d. hos Graintec opdagede jeg hurtigt, at der virkelig er sket et skifte i dambrugsbranchen. Faldende fiskekvoter og stigende kontrol med overfiskeri har sat prisen på fiskemel i vejret med mere end 300 % siden 1995. Det har affødt stor fokus på at bruge alternative proteinkilder. Mængden af fiskemel fra lavværdi-fisk (som tobis, brisling og ansjos) er de seneste to årtier faldet fra omkring 24 % til knap 10 %. I 2020 forventes det, at fiskefoder gennemsnitlig kun udgøres af 5 % fiskemel. I dag består fiskefoder således bl.a. af sojabønner, gluten, hvede, bønner, ærter, rapsolie, solsikkeolie og fiskeolie. Råvarerne formales og koges i damp ved højt tryk i en stor trykkoger, en såkaldt "ekstruder". Herved gøres stivelse og protein i foderet tilgængeligt for fisken samtidig med, at pillerne får deres form. Pillerne skal herefter tørres, primært for at sikre, at fode-

ret ikke mugner. Efter tørringen bliver pillerne coatet med olie og kølet, så de er klar til at pakke og sende ud til dambrugene.

Matematik og fysik på arbejde

Tørringen af fiskefoder sker med varm luft, der sendes gennem foderet, som oftest ligger på transportbånd i lag på ca. 15-40 cm. Ved passage gennem et lag af foderpiller sker der transport af vand fra overfladen af pillerne til tørreluften, som herefter afkøles. Det betyder, at piller øverst i laget til enhver tid bliver udsat for forhold, der er forskellige fra piller, der ligger nederst i et lag. Det kompliceres yderligere af, at den våde luft ofte recirkuleres og blandes med den friske luft, inden den igen opvarmes. For at imødekomme uensartethed i tørrelaget benytter tørreproducenterne ofte mere end ét lag. En tørrer består således ofte af flere transportbånd oven over hinanden, så produktet omfordeles imellem hver passage ved et fald til det underliggende bånd. Ofte har transportbåndene forskellige hastigheder, så tykkelsen på lagene varierer. Det er også normalt at benytte flere tørre-zoner, hvor opholdstid, luftmængde, luftretning, temperatur og fugtighed kan variere. Sagt med andre ord, så bliver konsekvenserne af at ændre få indstillinger i tørreprocessen hurtigt uoverskuelige. På flere foderfabrikker styres tørrerne i bedste

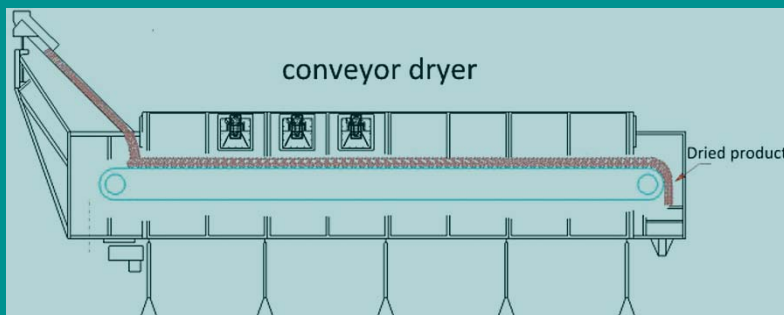
↑ Norge er én af verdens største eksportører af laks. Her ses et af mange lakseopdræt langs den Norske kyst.

Foto: Colourbox

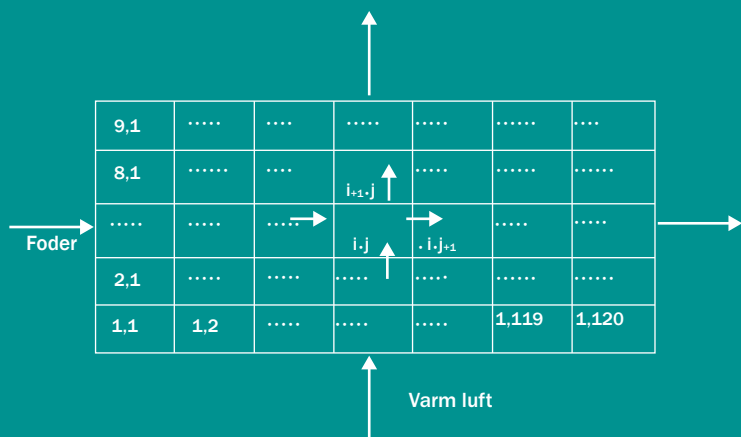


Den atlantiske laks er populær spise overalt i verden. Laksen er kødæder og skal i et opdræt derfor have proteinrig kost.

Foto: Graintec A/S



Principskitse af en horisontal båndtørrer med ét bånd og én tørrezone. Tørrerne har normalt mindst 2 bånd og ofte mere end 4 zoner med forskellig temperatur, luftfugtighed og luftflow.



Principskitse af en tørrer inddelt i småbitte bidder. Dette er basis for formulering af en matematisk model for tørreprocessen.

fald på lufttemperaturen, hvilket ofte er en ineffektiv løsning, der kan påvirke kvaliteten af produktet negativt.

Jeg har arbejdet med at opstille en matematisk model af tørreprocessen, idet man herved kan forudsige vandindhold og temperatur i pillerne og i luften i ethvert punkt gennem laget og til enhver tid efter tørringens start. Det kan være et uoverskueligt arbejde at skulle formulere en sådan model, men hvis man starter med at inddele tørreren i småbitte bidder hjælper det en del. Metodikken har herefter været at opstille balancer for hver lille bid af tørreren. Jeg er efterhånden ved at nå i mål med skelettet til modellen, som involverer en lang række koblede differentialligninger i 3 dimensioner. Det kan lyde lidt kompliceret, men håndgribeligheden skulle gerne komme til udtryk ved, at man med nogle få klik fx kan undersøge, om energiforbruget for en stor industriel tørrer kan optimeres til fx 10 ton foder i timen. Det kan man rigtig ofte. Producenterne er bare ofte bange for at ændre på indstillingerne af frygt for foderets kvalitet.

Årsagssammenhæng i fokus

Dårlig kvalitet af foderet kan komme til udtryk ved, at foderet ikke synker, synker for hurtigt, opløses i vandet eller smuldrer under den lange transportvej. Jeg har oplevet, at man forsøger at undgå disse problemer ved at hæve temperaturen og/eller sænke fugtigheden af luften. Men det har ingen dokumenteret effekt – snarere tværtimod – og så sender det energiforbruget yderligere i vejret.

Det er en vanskelig opgave at inkludere hensyn til foderets kvalitet i en matematisk model af den simple årsag, at det er svært at kvantificere kvalitet og endnu sværere at kæde dette sammen med pillernes strukturelle beskaffenhed og indstillingerne i tørreren. Det har derfor været nødvendigt at slutte sig til en række mulige årsagssammenhænge. Altså, hvordan forskellige tørreindstillinger vil medføre givne kemiske eller fysiske processer, der igen vil resultere i nogle strukturelle og mekaniske egenskaber af pillerne, som vi i sidste ende kan finde kvaliteten af. Bedømmelsen af kvalitet sker i industrien oftest ved fx at trykke på dem og måle brudstyrken eller at måle mængden af smuld efter, at pillerne har opholdt sig i en roterende kasse i noget tid. Et tilbagevendende problem har været, at skridtet tilbage til betydningen af tørreindstillingerne er for stort til, at man kan kvantificere og forudsige deres betydning i en model.

Mango og rødbeder som inspiration

På en "tørre-konference" i Kina blev jeg opmærksom på, at man i fødevarerbranchen ofte bruger såkaldte teksturprofilanalyser for at bedømme fx

sprødhed af æbler, mundfylde af rødbeder eller modenhed af mangoer efter forskellige indstillinger i tørreprocessen.

Jeg har overført denne type analyser til fiskefoder – ikke for at bedømme hverken mundfylde eller modenhed, men simpelthen for at kunne nuancere de strukturelle forhold i foderet. Her ved er det lykkedes os at finde en ny sammenhæng mellem holdbarhed af foderet (fx ved transport) og foderets strukturelle egenskaber. Det har vist sig, at foderet skal have en såkaldt stiv viskoelastisk karakter for at have en høj holdbarhed. Dvs. det skal kunne give sig, når det bliver trykket på og vende tilbage til den oprindelige form, når trykket ophører. Eksempelvis har en vingummi-bamse blød viskoelastisk karakter. Denne karakterisering kan hjælpe os med at komme dét skridt længere tilbage i årsagskæden, der gør, at vi kan inkludere nogle unikke kemiske og fysiske processer, der vil have stor indflydelse på viskoelasticiteten af et materiale. Det kan fx være karamellisering af overfladesukker og nok i særdeleshed “glasovergang” gennem pillen, som er en proces, der i nogen udstrækning beskriver hærden af et materiale, heraf navnet fra glasindustrien.

Fra teori til praksis

Selv de mest komplicerede matematiske modeller er kun så gode som deres evne til at gengive virkeligheden. Derfor har vi sikret et samarbejde med en amerikansk producent af tørreudstyr, så vi kan verificere tørremodellen og vores teorier omkring indflydelsen af tørreprocessen på den tekniske kvalitet af pillerne. Den amerikanske tørreproducent er derfor i fuld gang med at bygge en lille tørrer i laboratorieskala til os. I den vil vi kunne overvåge alt omkring tørringen og reelt gengive en tørreproces i fuld industriel skala. På den måde skulle det gerne sikres, at det stykke værktøj, vi i sidste ende kan præsentere, giver et retvisende billede af tørreprocessen og den indflydelse alle indstillingerne i tørreren har på både energieffektivitet og på den endelige tekniske kvalitet af fiskefoderet.

Samfundsdebatten kredser ofte omkring omlægning til alternative energiformer for at nedsætte CO₂-udledningen og bremse klimaforandringerne. Men det er ikke alle industrier, hvor det er realistisk at fremstille produkter på vedvarende energi, og da slet ikke endnu. Derfor gælder det ofte om at plukke de lavthængende frugter ved at effektivisere, så man kan strække ressourcerne længst muligt. Det giver et naturligt fokus på effektiviseringsprojekter som dette. I sidste ende er det jo også nærliggende at håbe på, at projektet kan finde anvendelse i andre industrier, hvor tørring er en central del af processen, fx ved tørring af kæledyrsmad, træ, korn, gødning osv. ■



Industrielle varmluft-tørrere er ofte mere end 12 meter lange og 5 meter høje. Tørreprocessen står for mere end 60 % af det termiske energiforbrug ved produktion af fiskefoder.



Eksempel på foderpiller. De er ikke store.

Foto: Graintec A/S

Videre læsning

FAO, The State of World Fisheries and Aquaculture 2012.

M.E. Katekawa, M.A. Silva, On the influence of glass transition on shrinkage in convective drying of fruits: A case study of banana drying. *Drying Technology* 25, 10 (2007), 1659-1666.

M.E. Katekawa, M.A. Silva, A review of drying models including shrinkage effects, *Drying Technology* 24, 1 (2006), 5-20.

M. Sorensen, A review of the effects of ingredient composition and processing conditions on the physical qualities of extruded high-energy fish feed as measured by prevailing methods, *Aquac. Nutr.* 18, 3 (2012), 233-248.

M. Thomas, D.J. van Zuilichem, A.F.B. van der Poel, Physical quality of pelleted animal feed. 2. contribution of processes and its conditions, *Anim. Feed Sci. Technol.* 64, 2-4 (1997), 173-192.

Den truede ål under lup

Ålen er lidt af et mysterium for forskerne. På trods af en ihærdig indsats er der stadig meget, vi ikke ved om denne værdifulde og kritisk truede fisks biologi. Et nyt tog til Sargassohavet skal nu være med til at udfylde hullerne i vores viden.



Forfatterne



Line Reeh,
videnskabsformidler,
DTU Aqua
lre@aqu.a.dtu.dk



Peter Munk,
seniorforsker og togtle-
der, DTU Aqua
pm@aqu.a.dtu.dk



Michael Ingemann
Pedersen,
videnskabelig medarbej-
der, DTU Aqua
mip@aqu.a.dtu.dk



Lasse Riemann,
lektor, Marinbiologisk
Laboratorium, Køben-
havns Universitet
lriemann@bio.ku.dk



Torkel Gissel
Nielsen,
professor, DTU Aqua
tgj@aqu.a.dtu.dk

Ål har sammen med torsk og sild været en af de vigtigste spise-fisk i Danmark siden stenalderen. Indtil for nylig var ålen en rigt repræsenteret fisk i søer, åer og floder i Europa og langs Europas og Nordafrikas kyster. De danske fangster af ål toppede mellem 1920 og 1970, men de seneste 30 år er bestanden faldet drastisk. Tidligere kom glasålene (åleynglen) til Europas kyster i kæmpe stimer for at gå op i åer, floder, søer og brakvandsområder, hvor de vokser op og bliver kønsmodne efter 5-15 år. I forhold til 1970'erne er mængden af glasål i dag faldet til bare 2-10 %. På grund af den kraftige tilbagegang i både bestand og tilgang af glasål kom ålen i 2008 på rødlisten som "kritisk truet" hos Den Internationale Union for Naturbeskyttelse (IUCN), hvilket betyder en "ekstrem høj risiko for at uddø i naturen". Siden har flere danske supermarkeder fjernet ålen fra køledisken. Det traditionelle danske ålegilde med ben hele vejen rundt om tallerkenen er måske snart en saga blot og bliver ikke nødvendigvis noget, som kommende generationer vil kende til.

En gådefuld fisk

På trods af, at mennesket har spist ål gennem flere tusinde år, er ålen stadig på mange måder en gådefuld fisk. Der er flere ubesvarede spørgsmål om dens vandring, gydning og opvæksten af yngelen: Hvordan modnes ålene i naturen? Hvilken rute tager ålene fra Europa til gydepladserne i Sargassohavet? Hvad æder de nyklækkede ålelarver, hvilken rute tager de tilbage til Europa, og hvordan overlever de? Svarene har stor betydning for, om vi også fremover kan sætte den næringsrige ål på frokostbordet.

Tilbage i tiden har man undret sig over, at man aldrig fandt gydemodne ål. Og før 1900-tallet havde man heller aldrig fundet ålens tidligste afkom, de nyklækkede ålelarver. Det var den danske havfor-

sker Dr. Johannes Schmidt, der i perioden 1904-1922 gennem en række togter dokumenterede, at den europæiske ål gyder i Sargassohavet ud for Florida, 5-6.000 km fra Europas kyster. Man har også siden Schmidts undersøgelser fanget nyklækkede larver i Sargassohavet, men det er endnu ikke lykkedes at finde åleæg eller gydemodne ål.

Mange trusler

Det er sandsynligt, at ålens tilbagegang skyldes en kombination af flere faktorer. Mistanken retter sig både mod trusler på opvækstpladserne i Europa og Nordafrika, og mod ændrede forhold i gydeområdet i Sargassohavet på den anden side af Atlanterhavet.

I Europa er ålen presset af både fiskeri, forringelse af levesteder og sygdom. I dag fanger man i Danmark ca. 400 tons ål pr. år mod ca. 4.000 tons pr. år i 1960'erne. Landindvinding, dæmninger, udretning af vandløb og forurening har begrænset ålens opvækstområder, så det er blevet sværere for den at klare sig. For 150 år siden var 25 % af Danmarks areal dækket af vådområder, som er gode opvækstområder for ål. I dag er tallet reduceret til 4 %. Og spærringer i vandløb, fx ved vandkraftværker eller ved traditionelle dambrug, forhindrer ålen i at vandre op til opvækstområder længere oppe i vandløbet. Efterfølgende, når ålene som kønsmodne søger mod havet igen, risikerer de at gå til i disse spærringer.

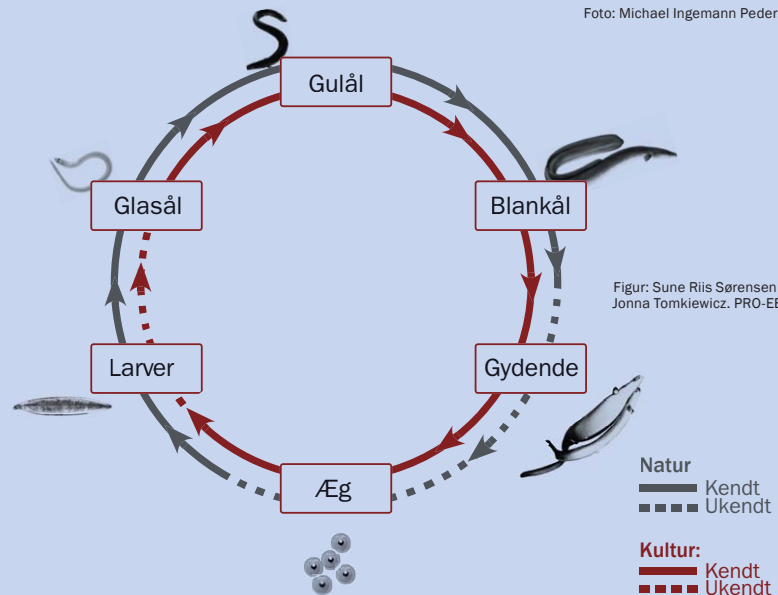
I Europa presses de voksne ål også af en invasiv parasit. Det er en svømmeblæreorm (*Anguillicola crassus*), som i 1980'erne kom til Europa fra Japan og som siden har spredt sig blandt europæiske ål. Op mod 30 % af de europæiske ål er nu inficeret med parasitten. Mange ål, der er smittet med parasitten, får arvæv på deres svømmeblære, så de



Foto: Michael Ingemann Pedersen

Ålens stadier

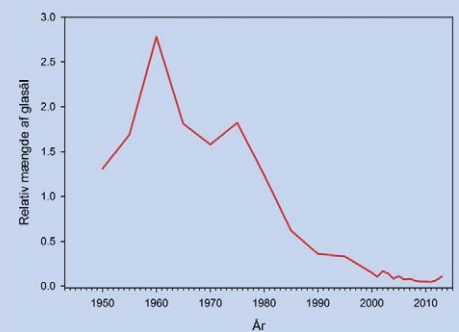
Den Europæiske ål gyder i Sargassohavet. Når æggene klækker lever de små ålelarver af deres blommesæk, men når den er opbrugt, skal de finde den rette føde i vandet. Mens de vokser op driver de mod Europa. Det sker i et særligt stadie, bladlarve, hvor de er helt flade og med form som et pileblad. Man har tidligere antaget, at rejsen tog to år, men en ny teori er, at ålene tager en mere sydlig rute og kan gøre turen på kun et år. Tættere ved Europa forvandles ålene til glasål, som er helt gennemsigtige og ca. fem centimeter lange. Disse søger op i floder, åer og søer eller bliver i det lave vand tæt ved kysten. I ferskvand skifter de farve på undersiden, som bliver gul, heraf navnet gulål for dette stadie. En gulål bliver kønsmoden efter 5-15 år. Så stopper den med at spise, dens øjne vokser, dens tarmkanal bliver mindre og den ændrer farve til sort eller grå med blank eller hvid underside. Nu kaldes den blankål og er nu mellem 33 og 100 cm lang. I starten af september forlader de voksne blankål deres opvækstpladser i Europa og søger ud mod Atlanterhavet for at begynde den 5-6.000 km lange vej tilbage mod Sargassohavet for at yngle.



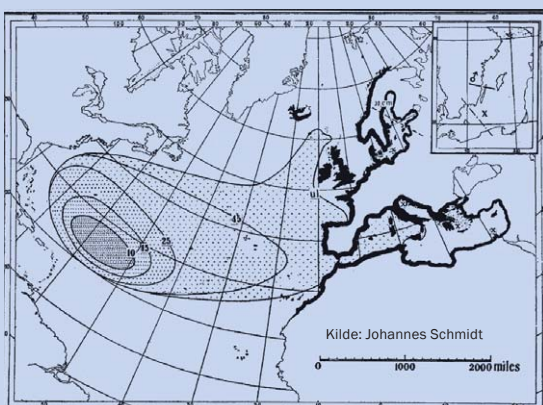
EU's Åleforvaltningsplaner

For at redde den europæiske ål pålagde EU Kommissionen i 2007 alle medlemslande at udforme åleforvaltningsplaner i løbet af 2009. Den danske forvaltningsplan sætter som mål, at mindst 40 % af den oprindelige gydebestand på langt sigt skal kunne udvandre fra ferskvand, og at fiskeriindsatsen i saltvand reduceres med mindst 50 % over en 5 års periode. Undersøgelser fra 2011 fra DTU Aqua viser, at det danske rekreative fiskeri fanger i omegnen af 100 ton ål om året, hvilket skal lægges til de 350 ton, som blev fanget i det kommercielle fiskeri i 2013. I 1960'erne var fangsterne oppe på omkring 4.000 ton pr. år.

I Danmark har man siden 1987 forsøgt at genoprette bestanden ved at udsætte glasål importeret fra især Frankrig, som man har opfodret til 2-5 gram før udsætning. I 2010 blev der udsat 1,54 millioner små ål i danske søer, vandløb og kystområder. I takt med at antallet af vilde glasål falder, stiger behovet for at kunne få ål til at gyde i fangeskab, så man ikke er afhængig af de vilde bestande.



Forekomst af glasål ved Europas kyster i perioden 1950-2013

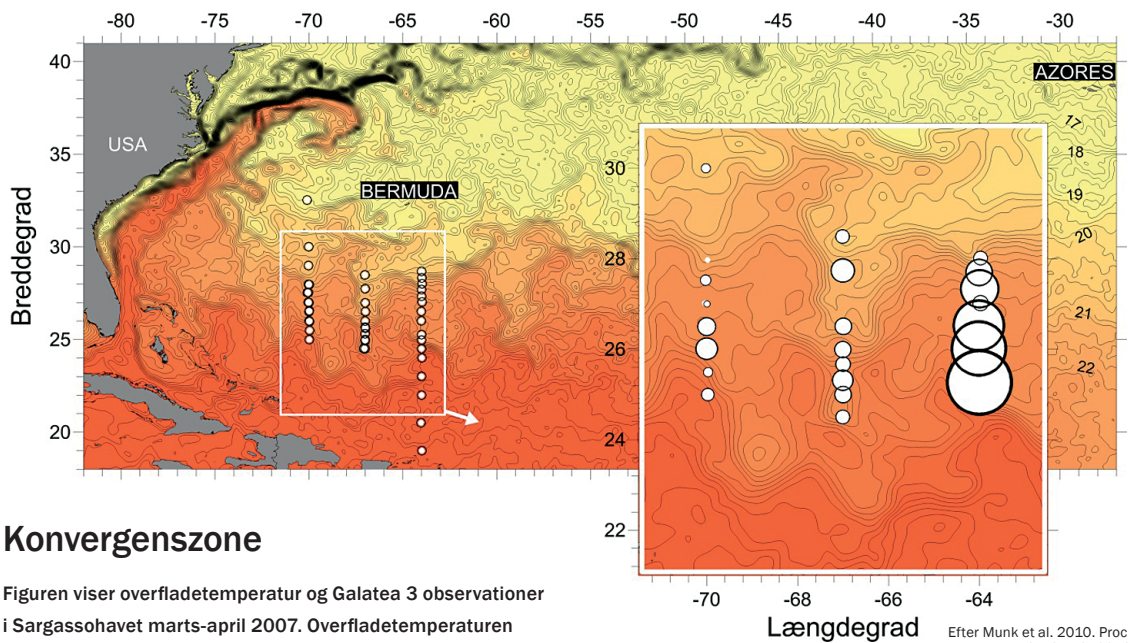


Gydeområdet i Sargassohavet afgrænset ud fra historiske data over størrelser på ålelarver. Inden for det mørkeste område fanges de mindste larver (<10 mm). Det vil sige, at vi her er tæt på området, hvor æggene er gydt og larverne udklækket.



Fiskeri efter ålelarver på Galathea 3. Et 3,5-meter ring net til fangst af fiskelarver. Nettet har en maskestørrelse på bare 0,55 mm

Foto: Peter Munk



Konvergenzone

Figuren viser overfladetemperatur og Galathea 3 observationer i Sargassohavet marts-april 2007. Overfladetemperaturen blev målt fra satellit, linjerne viser temperaturen med intervaller på 0,25 °C (værdi af de farvede linjer er vist yderst til højre). Det lysere røde område, mellem fuldt rødt og gult er den Subtropiske Konvergenzone. Det store kort viser, hvor

alle stationerne var placeret, mens den indsatte forstørrelse viser den relative forekomst af europæiske ålelarver med de største mængder i konvergenzonen.

Efter Munk et al. 2010. Proc Royal Soc London Biol Sci 277:3593-3599

måske får vanskeligt ved at klare den lange svømmetur til Sargassohavet.

Også den voksende bestand af skarver i mange europæiske lande mistænkes for at gøre indhug i ålebestanden. Fx har seniorforsker Niels Jepsen fra DTU Aqua i Silkeborg vist, at 40 % af 10.000 ål på 15-20 cm udsat i Ringkøbing Fjord blev spist af skarver. Og mærkningsforsøg i Gudenåen har vist, at skarver også tager store vandrende, blankål.

Galathea 3: Nye metoder

Ud over de trusler, som ålen udsættes for i Europa, kan det også være forhold i gydeområderne i Sargassohavet eller under vandringen, som gør livet hårdt for ålebestanden.

Efter Johannes Schmidts togter har der været danske åleekspeditioner i 1966 og senest Galathea 3 i 2007, hvor vi undersøgte udbredelsen af gydeområderne i Sargassohavet og forsøgte at fange en gydemoden ål. Får man en gydemoden ål i trawlet, kan den give indblik i, hvilke hormoner der skal til for at modne ål til gydning i akvakultur. Fangst af voksne ål vil også kunne vise, om de gydemodne ål har svømmeblæreorm eller ej, så man kan se, hvilken rolle parasitten spiller for ålens tilbagegang. Men, desværre. At fange en gydemoden ål i det store og dybe Sargassohav er som at finde en (n)ål i en høstak, så heller ikke i 2007 lykkedes det.

Galathea 3 ekspeditionen gjorde heldigvis andre opdagelser. Vi indsamlede 271 nyklækkede larver af den europæiske ål i det sydlige Sargassohav langs en front, der strækker sig som et smalt bånd i en øst-

vestlig retning. Her mødes kolde og varme vandmasser og danner den mere end 1.000 km lange Subtropiske Konvergenzone, hvor varmt subtropisk vand sydfra flyder ind over koldere vand fra Nordatlanten. Disse ålelarver har fiskegenetikerne Michael Møller Hansen og Thomas Damm Als fra Aarhus Universitet brugt til at sætte punktum for årtiers tvivl og slå fast, at alle europæiske ål, fra Island over Danmark til Marokko, tilhører samme bestand. Det vil sige, at de parrer sig på kryds og tværs, når de mødes for at gyde i Sargassohavet, uanset hvor de er vokset op. Til sammenligning er ørred og laks typisk genetisk forskellige fra vandløb til vandløb, selvom der kun er få kilometer imellem åerne.

I undersøgelsen indgik også 1.010 glasål (de små ål, som ankommer til kysterne efter 1-2 års rejse), der blev indsamlet fra flodmundinger fra Island i nord til Marokko i syd. Ålelarvernes og glasålernes genetiske profil blev kortlagt ved hjælp af mikrosatellit-DNA, en slags genetiske fingeraftryk. Resultatet, at der er tale om en samlet bestand, understreger, at man kun kan redde ålen gennem et målrettet europæisk samarbejde om at sikre ålen gode levebetingelser. Overfiskeri eller dårlige miljøforhold i ét europæisk land har konsekvenser for bestanden i hele Europa.

Ålen ringer hjem

Ud over genteknologi er der også sket meget inden for telemetri, dvs. mærkning af dyr, siden Schmidts tid. Det har givet os nye muligheder for at følge ålen, når den forlader Europas kyst og svømmer vestpå. I 2009 kunne seniorforsker Kim Aarestrup fra DTU Aqua i Silkeborg og kolleger publicere en artikel i *Science* baseret på mærkning af 22 store

Hunålen sammen med den væsentlig mindre hanål.

Foto: Sune Riis Sørensen



Verdensmestre i opdræt

Trods årtiers indsats er det endnu ikke lykkedes at opnå succesfuld storskalaforplantning af ål i fangenskab. Modning af ål er vanskeligt, fordi en hæmning i ålens hjerne gør, at de ikke kønsmodner i vore farvande – det er processer på deres lange rejse, som gør dem gydeklare.

Franskmanden Maurice Fontaine var en pioner inden for kunstig formering af ål, hvor han gennem hormonbehandling fik ålene til at udvikle æg og sæd. Han blev efterfulgt af to danske biologer Inge og Jan Boëtius, som stod for den første reagensglas-befrugtning af åleæg tilbage i 1977 (seks år før det første reagensglasbarn blev skabt i Danmark). Siden da er det gennem en række projekter ledet af Jonna Tomkiewicz, DTU Aqua, lykkedes at få levedygtige æg og at klække larver og få dem til at leve i op til 26 dage, hvilket er verdensrekord og et vigtigt skridt mod bæredygtigt opdræt. Senest har et stort europæisk projekt kaldet PRO-EEL med deltagere fra 7 lande gjort det muligt at opnå levedygtige larver i stort antal.

Den næste store udfordring er at finde egnet føde til ålelarverne, så de kan vokse og leve ud over de ca. 12 dage, hvor deres blommesæk (den madpakke de har med fra ægget) er spist op. De små ålelarver har meget store pincetagtige hugtænder (se foto), men de er faktisk ikke i stand til at bide eller slugte store fødepartikler.

Ved at studere både ålelarver og deres føde, der fanges på det nye togt til Sargassohavet, vil det i fremtiden forhåbentlig blive muligt at skræddersy en kost til larverne, så de kan vokse sig store og blive til glasål i fangenskab. En produktion



De små fostre klækker efter cirka to døgn ved 20 grader. De er her fotograferet på netop det tidspunkt, hvor larverne bokser sig ud af æggeskallen.

Foto: Sune Riis Sørensen



Det første døgn efter klækning hænger de små ålelarver frit i vandet og holder sig flydende blandt andet ved hjælp af oliedråben, der ses som en stor rund boble øverst i larven.

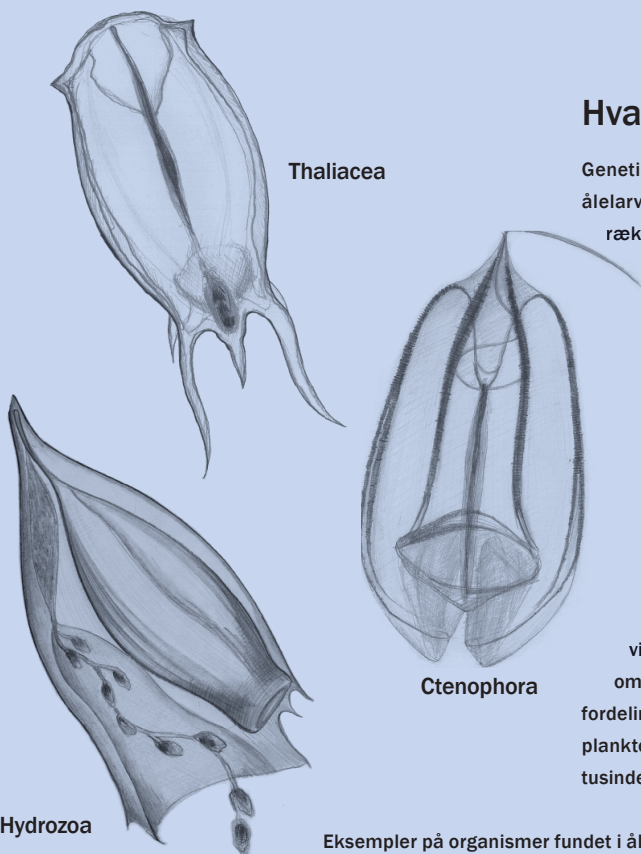
Foto: Sune Riis Sørensen



I dagene efter klækning udvikler larven sig hurtigt og bevæger sig mere rundt. På dag 12 efter klækning er både øje, kæbe og mundparti veludviklede.

Foto: Jonna Tomkiewicz

af glasål i akvakultur ville både være et økonomisk aktiv for Danmark og kunne mindske fiskeritrykket på vilde ål og måske være med til at redde ålen fra udryddelse. Det vil et nyt dansk projekt EEL-HATCH finansieret af Højteknologifonden bidrage til.



Thaliacea

Ctenophora

Hydrozoa

Eksempler på organismer fundet i ålelarvers tarme.

Tegninger: Camille Havel

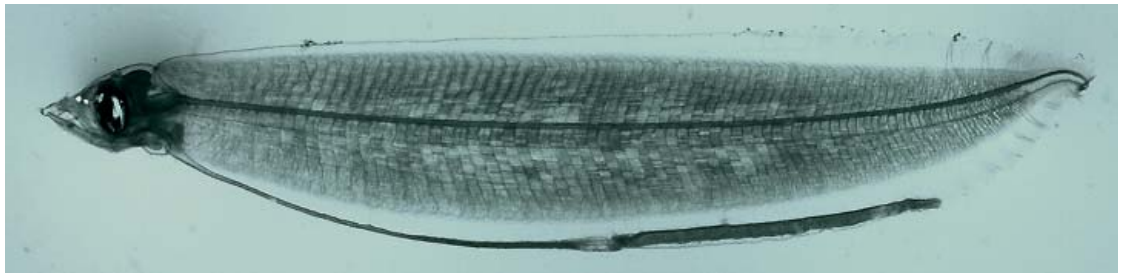
Hvad spiser ålelarver?

Genetiske undersøgelser af DNA fra tarminholdet hos små ålelarver fra Galathea 3 ekspeditionen i 2007 afslørede en række forskellige organismer; bl.a. mange gele-planktonorganismer (gopler med mere), i ålelarvernes tarme. Spørgsmålet er dog, om ålelarverne spiser disse organismer direkte eller i form af "marin sne", dvs. aggregater af dødt og levende materiale, der kan indeholde DNA fra mange forskellige organismer?

For at få svaret vil vi på det kommende togt til Sargassohavet kombinere omfattende DNA-sekvensering af tarminholdet hos ålelarver med undersøgelser af fordelingen af geleplankton i havet. Gennem en bedre identifikation og beskrivelse af fordelingen af vigtige planktonorganismer og af marin sne kan vi se, om der er overlap mellem ålelarvernes maveindhold og fordelingen af byttedyr. Måske tilgængeligheden af geleplankton spiller en rolle for ålens mystiske valg af gydeplads tusindevis af km fra dens naturlige levested?

Bladlarve. I mange år troede man ikke, at "bladål", det stadie hvor åleynglen er flad og har facon som et pileblad, overhovedet var ål.

Foto: Peter Munk



hunål med elektroniske mærker, som lagrer oplysninger om temperaturer, dybde og lysforhold. Ålene blev sat ud ved Irlands kyst, og mærkerne programmeret til at gå til overfladen og sende resultater hjem på et forudbestemt tidspunkt. Resultaterne viste, at ålene ikke tager den direkte rute mod Sargasso, men i stedet går i retning mod Azorerne. Herfra får de formentlig et lift med de syd- og vestgående havstrømme over Atlanten til Sargassohavet.

De mærkede ål nåede omkring 1.000 kilometer ud for Irlands kyst, før mærkerne frigjorde sig fra ålene og røg op til overfladen. Men Sargassohavet ligger omkring 5.000 kilometer fra Irlands kyst, så det er kun en del af ruten, der er blevet kortlagt. Så enten har ålene ikke så travlt med at komme til Sargassohavet, som vi har troet, eller også er det mærkerne i sig selv, der har sinket dem. Mærkningen viste også, at ålene svømmer på 200-300 meters dybde om dagen – og så går ned på dybere vand, 600-1.000 meters dybde, om natten. Der er to mulige forklaringer på disse elevator-ture: Den ene er, at de dykker dybt for at undgå at blive spist. Den anden, at de dykker, fordi vandet i dybderne er koldere, og at ålene bruger det til at time modningen af deres æg til de når stævnmøderne i Sargassohavet.

Dugfriske hypoteser

I kølvandet på resultaterne fra Galatheas Sargassotogt har vi fremsat en række teorier, baseret på ny forståelse af sammenhængen mellem opvækstpladser, oceanografi og klima. En af vores teorier er, at ålelarverne er afhængige af den Subtropiske Konvergenzone nævnt ovenfor. Vores arbejde på Galathea 3 har vist, at det er i denne frontzone, at ålelarverne vokser op. Vi kunne også se, at planktonsammensætningen her adskilte sig fra de omgivende områder, og at det ikke er en simpel konvergenzone, men et mere komplekst system.

Vores arbejdshypotese er, at ålens gydning foregår i den sydlige del af frontzonen, synkroniseret til månefasen, og at æg og larver herefter driver mod nord i frontzonen. Ved at undersøge frontzonens specielle hydrografi og plankton-føde-kæde kan vi undersøge, om den skaber særligt gode betingelser for ålelarvernes opvækst.

Med hensyn til larvernes drift mod Europa, så antager vi, at en stor del af larverne bliver indfanget af den østgående front-strøm (Subtropisk Mod-

strøm) og altså ikke transporteres i Golfstrømmen, som man hidtil har antaget. Via denne alternative rute kan larverne tage turen til Europa på kun et år i stedet for to, hvilket er i bedre overensstemmelse med aldersbestemmelser på larverne. Den Subtropiske Modstrøm opstår i forbindelse med subtropisk varmt vand og vil være påvirkelig af klimaændringer, hvorfor der kan være en sammenhæng mellem klimaforhold og larvernes overlevelseschancer.

Jagten intensiveres

100 år efter at Johannes Schmidts gennemførte det første forskningstogt mod ålens gydepladser forbereder vi nu en ny dansk ekspedition til Sargassohavet. Det bliver med havundersøgelsesskibet Dana i marts-april 2014. Her deltager forskere fra flere danske universiteter sammen med udenlandske samarbejdspartnere på et to måneder langt togt, der finansieres af Dansk Center for Havforskning og Carlsberg fondet og ledes af DTU Aqua.

På togtet tager vi blandt andet de ovennævnte hypoteser op og undersøger de oceanografiske frontdannelser, produktionen af plankton, planktonfødekædens sammensætning og dens betydning for ålelarvernes fødevalg, ålelarvernes fordeling, artsforskelle, gen-ekspression, vækst og drift samt forekomsten af voksne ål i området. Vi vil kombinere satellit-observationer med oceanografiske målinger fra Dana, strømmålinger, indsamling af plankton og larver, molekylærbiologisk identifikation af bytte i larvernes tarm, ørestensanalyse, genom- og transkriptom-analyse samt fiskeri efter voksne ål.

I forbindelse med Galathea 3 fandt vi, at ålelarverne i modsætning til hovedparten af andre fiskelarver, som lever af vandløpper, hyppigt havde forskellige former for geleplankton i maven. Da disse organismer er delvist opløste var det kun ved hjælp af DNA-analyser, at de kunne identificeres. På det kommende togt vil vi have fokus på at indsamle disse skrøbelige byttedyr i havet. Mange af disse organismer er ikke beskrevet videnskabeligt, så de vil blive analyseret genetisk, så man kan sammenligne dem med det genetiske materiale i maven på larverne.

Viden om ålelarvernes kost vil være særdeles vigtig for fremtidens muligheder for at opdrætte ål og dermed sikre, at danskerne også i fremtiden vil kunne få røget ål til påskefrokosten. ■



Følg den kommende åle-ekspedition til Sargassohavet på www.facebook.com/aaleekspedition. Havforsknings-skibet Dana sejler fra Bermuda med kurs mod Sargassohavet den 15. marts 2014.

Nye fysikøvelser til gymnasiet

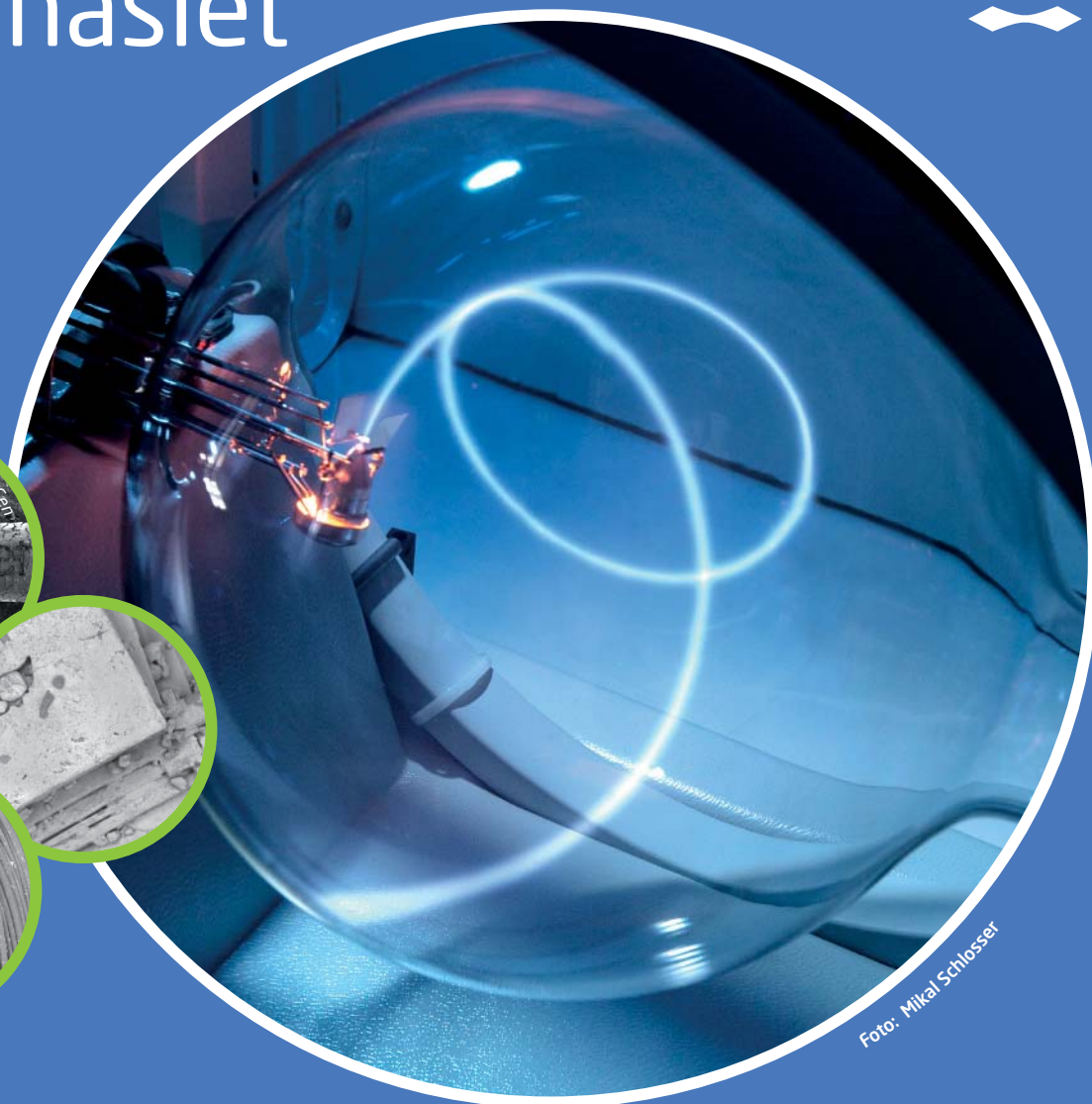


Foto: Mikal Schlosser

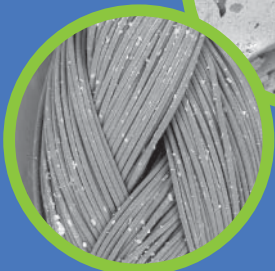
Hårstrå



Flagesalt



Snor



Elektronmikroskopi

Tag dine elever med på besøg i Danmarks første elektronmikroskopilaboratorium for gymnasieelever. Ved hjælp af elektronmikroskoperne skal eleverne undersøge polymersolceller, membraner i brændselsceller eller andre materialer og finde ud af, hvilke grundstoffer materialerne består af. Eleverne lærer både, hvordan elektronmikroskoperne virker, og hvordan de bruges i materialeforskningen.

Acceleratorfysik

I denne øvelse og med nyt udstyr vil I lære om de acceleratorprincipper, man benytter for at frembringe neutron- og røntgenstråling, som bruges til at undersøge fremtidens materialer. Gennem teori og praksis kommer I til at bestemme e/m , som er forholdet mellem elektronens ladning e og dens masse m .

Forudsætninger:

Øvelsen er for elever med fysik på A-niveau.

Læs mere, og tilmeld dig og din klasse på

www.dtu.dk/gymnasiebooking

Brug de nye øvelser i din fysikundervisning, eventuelt i kombination med andre øvelser på DTU. **Obs!** Du kan også deltage i DTU's to fysiklæredage om emnerne elektronmikroskopi (den 9. april) og neutron- og røntgenkilder (den 2. oktober). Du tilmelder dig via www.nanoteket.fysik.dtu.dk

Forskning på tværs af faggrænser

Både fysikere og biologer er optaget af at udforske og forstå naturen. Biologer kan stille mange relevante spørgsmål, som de ikke kan besvare. Og fysikere kan svare på mange spørgsmål, som ingen har stillet. Den svære kunst er at kombinere spørgsmål og svar på tværs af faggrænser.

Forfatterne



Thomas Kiørboe er professor, DTU Aqua. tk@aqua.dtu.dk



Anders Andersen er lektor, DTU Fysik aanders@fysik.dtu.dk



Tomas Bohr er professor, DTU Fysik tomas.bohr@fysik.dtu.dk

Alle tilknyttet Centre for Ocean Life (VKR Center of Excellence)

Opskriften på en “hit-artikel” i et videnskabeligt tidsskrift (altså en artikel, der bliver læst og citeret af mange) er ifølge en nylig artikel i *Science* at kombinere konventionel viden med en passende – og ikke for stor – dosis nyt fra et andet forskningsfelt. Da Darwin introducerede sine revolutionerende ideer om evolution og naturlig selektion byggede hans præsentation i høj grad på en beskrivelse af konventionel viden om avl af husdyr. Og da Newton introducerede sine gravitationslove byggede han sin fremstilling på velkendt geometri, ikke på den nye differentialregning han også havde udviklet. Nye ideer løsevet fra konventionel viden opfattes som skøre og har kun ringe gennemslagskraft, i hvert fald i deres samtid.

At utraditionel kombination af viden kan føre til nye opdagelser er en gammel nyhed: Det er ofte på grænsen mellem discipliner, at de store nybrud sker. Forfatterne til denne artikel, to fysikere og en biolog, forsøger (som så mange andre) at kombinere deres viden på tværs af deres respektive discipliner, først og fremmest til at belyse biologiske spørgsmål. Og vi deltager i et VKR-forskningscenter, som forsøger at bringe fysikere, matematikere, biologer og kemikere sammen om at udvikle forståelsen af livet i havet og af marine økosystemer. Men vi har oplevet, at det ikke altid er lige nemt at kommunikere på tværs af faggrænser: Vi har vidt forskellige traditioner, og vi har forskellige sprog.

Forskellige faglige traditioner

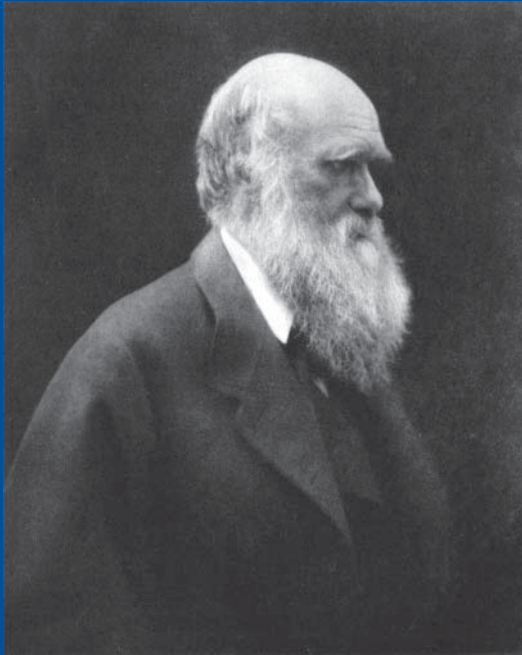
Den danske biolog Tom Fenchel karakteriserede engang forskellen mellem biologer og fysikere nogenlunde således: Hvis de hver især skulle beskrive et billardspil ville biologen beskrive spil efter spil, notere at hvert spil er unikt men kategorisere dem og ende med at skrive en lang afhandling om sine observationer. Fysikeren ville derimod snart udlede teorien om det elastiske stød og skrive en kort artikel.

Den forskel, der her karikeres, går tilbage til vore faglige forfædre: På basis af nogle få fundamentale postulater formulerede Einstein den specielle relativitetsteori i få ligninger, der revolutionerede fysikken, mens Darwin brugte et helt liv på at samle observationer, inden han omsider kunne formulere sine ikke mindre revolutionerende ideer i en hel bog.

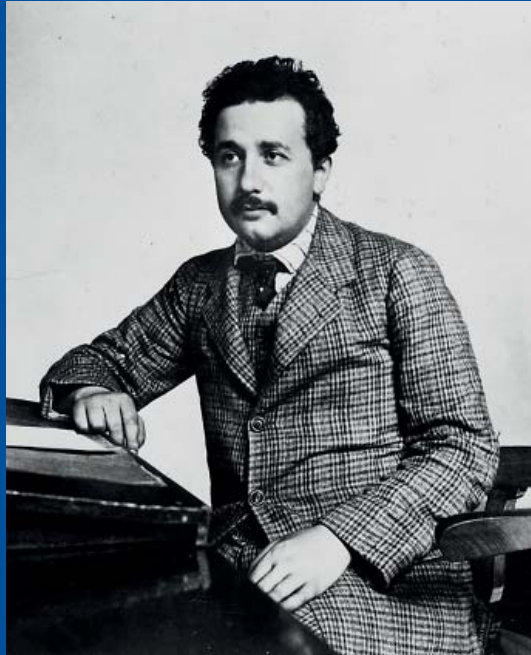
Biologi er i sit udgangspunkt en beskrivende videnskab, der fokuserer på detaljer, kompleksitet og forskellighed (diversitet), mens fysikkens ideal i højere grad er syntesen, forenklingen og det fundamentale. Biologi bygger traditionelt på intuition, fysikken udnytter derimod ofte matematiske beviser. Biologien taler i (mange) ord, fysikken i (få) ligninger.

Forudsætningen for at overkomme de kulturelle kløfter og sproglige barrierer er at erkende dem. Og

Biologi versus fysik



Darwin brugte et helt liv på at samle observationer og evidens og udgav først i en alder af 50 år *Arternes oprindelse*,



mens Einstein i en alder af blot 26 år publicerede den specielle relativitetsteori, der fundamentalt ændrede fysikken.

der er meget at vinde ved at overskride faggrænserne, både for biologien og for fysikken. Lad os starte med det sidste.

Fysikkens udvikling

Gennem de seneste 100 år har fysikkens grundlag ændret sig med stor hastighed, først med introduktion af relativitetsteori og siden kvantemekanik, standard-modellen og strengteori. Bestræbelserne har været indad i en stadig søgen efter naturens mindste, fundamentale byggesten. Men der er grænser for, hvor mange superacceleratorer vi kan bygge, og derfor grænser for, hvor mange fysikere, der kan beskæftige sig med naturens mindste byggesten. Og samtidig er det blevet klart, at ikke alle verdens spørgsmål kan besvares med dette reduktionistiske princip, selvom fysikken ambitiøst har stræbt mod at formulere "teorien for alting". Dette er måske især blevet åbenbart gennem studiet af såkaldt komplekse systemer – som de fleste biologiske systemer er – og har ført til erkendelsen af, at hver længdeskala og grad af kompleksitet har sine egne fundamentale problemer, som kan interessere fysikere.

Fysikere har derfor i stigende omfang kastet sig over biologiske problemer. Det drejer sig om stort set alle områder indenfor biologien, herunder molekylærbiologi, cellebiologi, fysiologi, medicin og økologi. Fysikerne tilfører biologien en forståelse af

underliggende, ikke-intuitive fysiske mekanismer og en analytisk kraft, og fysikken har ydet væsentlige bidrag til biologien. Men der er også mange eksempler på, at fysikere har besvaret selvopfundne spørgsmål, som ingen andre har interesse i og som typisk er begrundet i en metode, som de behersker.

Det gode problem

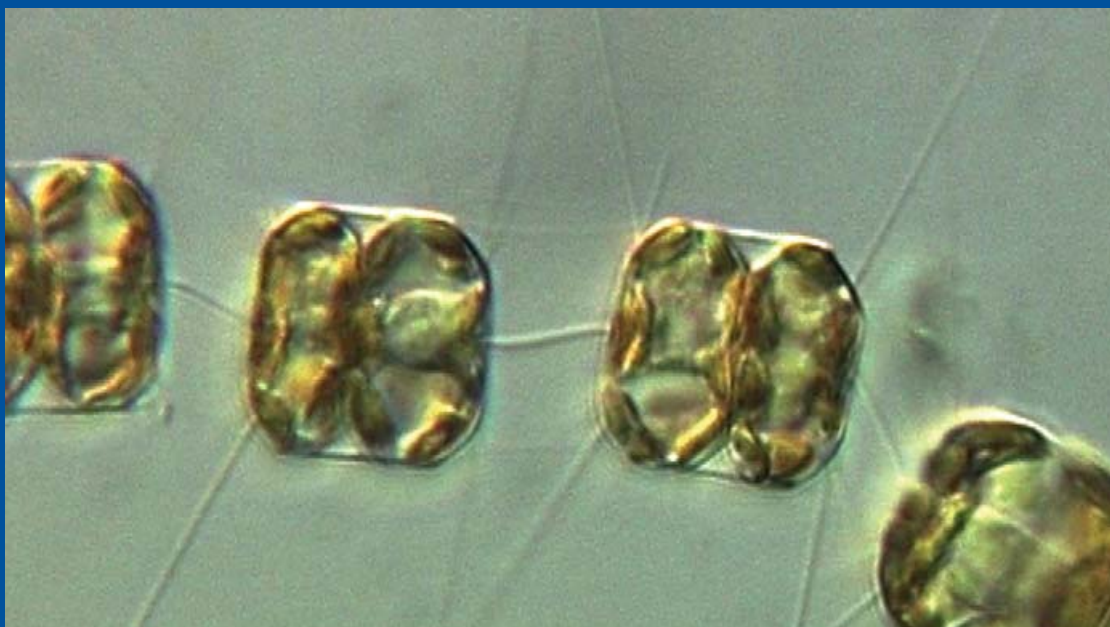
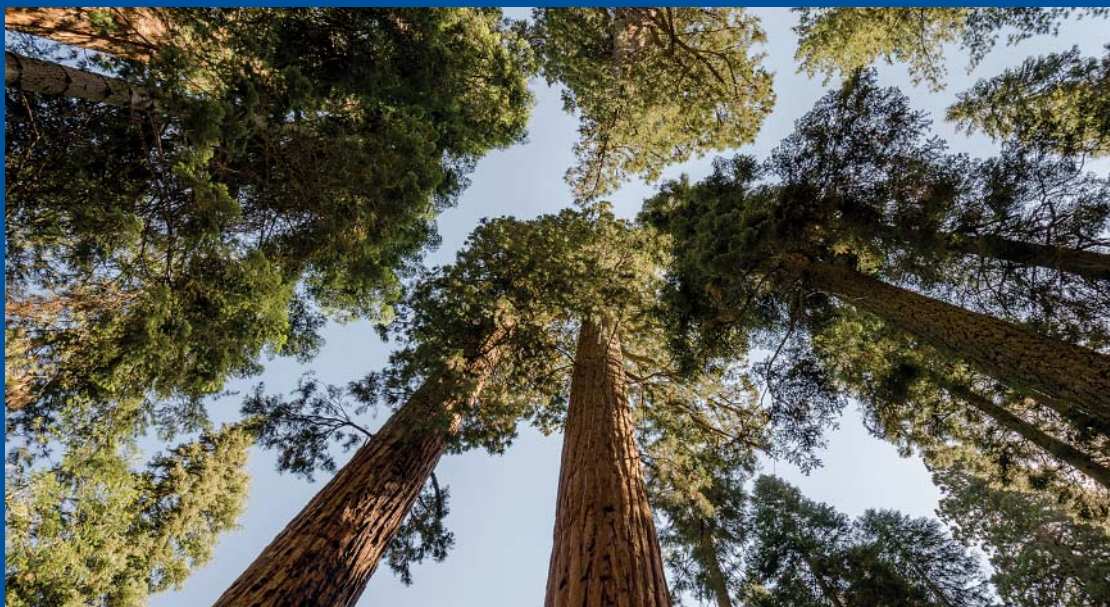
En matematiker kom engang til én af os og spurgte, om der var et godt biologisk spørgsmål, som passede til det svar, han ad matematisk vej havde fundet frem til. Fysikere og matematikere er altid på jagt efter *gode problemer*. Et *godt problem* er karakteriseret ved at kunne løses teoretisk, og ved at løsningen er ikke-trivielt – altså at man ikke uden videre kan regne det ud – og gerne overraskende. Lidt ligesom en interessant gåde. Det *gode problem* er altså typisk ikke afledt af et udefrakommende spørgsmål men snarere defineret ved sine egenskaber. Løsningen af den slags problemer kan lede til nye overraskende indsigter. Det er der altså ikke noget i vejen med. Men der er selvfølgelig forskel på interessante og ligegyldige spørgsmål, og den distinktion er ikke altid nem at gøre.

Problemer og spørgsmål i biologien er typisk defineret ud fra en observation, som ønskes forklaret. Biologer er trænet i at måle på biologiske systemer, fra celle- til økosystemniveau, men ofte kan observationer ikke fortolkes ved hjælp af sund fornuft og intu-

Havets planter er encellede og, mens landjordens planter kan være små eller store – eller meget store, som Sequoia-træerne øverst. Denne forskel i primærproducenternes størrelser har afgørende betydning for strukturen af havets og landjordens fødekæder.

Foto sequoia-træer:
Tuxyso / Wikimedia Commons
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>

Foto kiselalgeralger: Niels Daugbjerg



ition. Lad os tage et par eksempler fra vores eget forskningsområde.

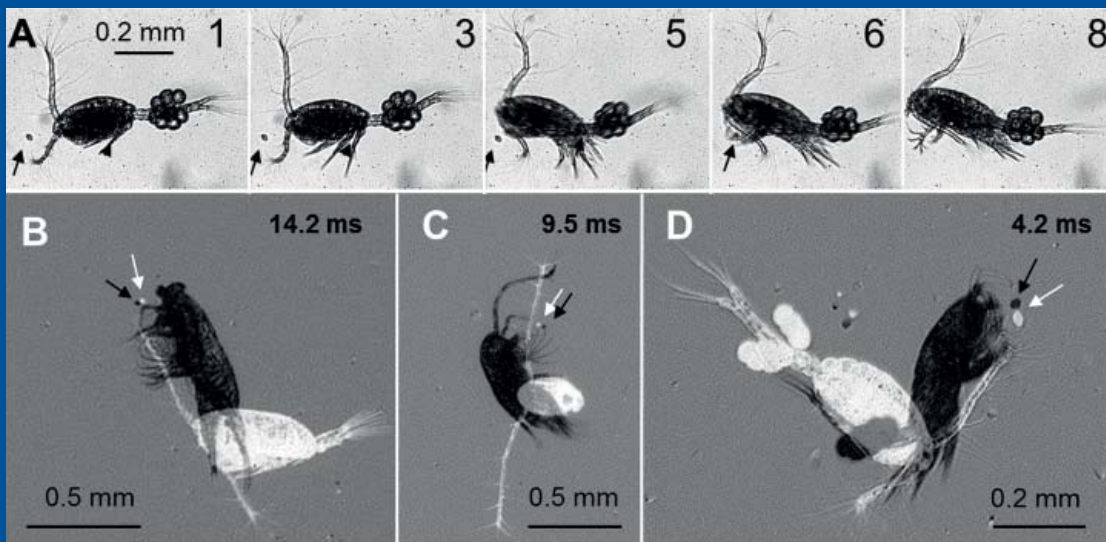
Fysikken i biologien

Planteproduktionen i havet varetages af mikroskopiske encellede planter, det såkaldte fytoplankton. Men hvorfor er alle havplanter mikroskopiske, når planterne på landjorden har alle mulige størrelser, fra mikroskopiske encellede organismer til små græsser og til de største, 100 m høje *Sequoia*-træer? Denne forskel i primærproducenternes størrelse forplanter sig hele vejen op i fødekæden og er derfor vigtig for at forstå forskelle mellem fødekæderne på land og i havet.

Plantevæksten på landjorden er først og fremmest begrænset af vand – der er ringe plantevækst i Sahara og stor plantebiomasse i en regnskov. Plan-

tevæksten i havet er derimod primært begrænset af tilgængeligheden af plantenæringsstoffer som nitrat og fosfat. Fysikkens love om molekylær diffusion fortæller os, at tilførslen af næringsstoffer er langt mere effektiv, jo mindre planten er, og det er præcis grunden til, at planterne i havet er mikroskopiske. Men der skal en forståelse af formel fysik til for at indse dette – det kan ikke udledes af naturhistoriske observationer.

Et andet eksempel er, at mange mikroskopiske planktondyr skaber en fødestrøm ved at vibrere med deres fødelemmer, og de høster byttepartikler, der ankommer i fødestrømmen. Men nogle byttedyr, få tusindedele mm store, opdager, at de er ved at blive indfanget og flygter. Umiddelbart en logisk reaktion, men hvordan kan disse blinde smådyr vide, at de er i fare? Vi har mange tilsvarende observatio-



(Forfatterens fotos. Gengivet med tilladelse fra Proceedings of the National Academy of Sciences)

Et spørgsmål om træk

Et af de mest fundamentale *træk*, der karakteriserer en organisme, er dens størrelse. Næsten alle *vitale rater* afhænger af en organismes størrelse: stofskifte, vækst, fødeoptagelse, reproduktion osv. Og for forskellige livsformer knytter der sig specifikke fordele og ulemper (*trade-offs*) til størrelse. For encellede planktonalger, gælder fx, at jo mindre de er, des større er deres relative næringsoptagelse og derfor deres væksthastighed. Men samtidig er der flere organismer, der græsser på små celler, som derfor også har en større dødelighed. Det er balancen mellem dødelighed og vækst og derfor antallet af græssere og mængden af næring, der afgør hvilken størrelse, der er optimal i et givet miljø.

For flercellede organismer er det tilsvarende balancen mellem overlevelse og reproduktion, der afgør den optimale størrelse for den voksne organisme: des større den er, des større formeringsevne, men jo længere er den om at kønsmodnes

med en deraf større risiko for at blive ædt inden kønsmodning. Marine økosystemer er størrelsesorganiserede – små ædes af større, som ædes af endnu større – og kan modelleres robust, hvis man kan kvantificere fordele og ulemper ved organismernes størrelse og få andre essentielle træk.

Billederne viser eksempler på bagholdsangreb i havet. En mm-stor vandloppe angriber med stor hastighed et lille byttedyr (øverste billeder). Vand er tykkere end luft, og man ville derfor forvente, at vandloppen ville skubbe sit byttedyr væk, når den kastede sig mod byttet. Men det sker ikke som illustreret på de nederste billeder. I hvidt og sort er i 3 eksempler vist position af vandloppe og bytte (pile) hhv. lige før og efter angrebshoppet. Byttet skubbes ikke væk. Fysikken har givet svaret på, hvordan det kan lade sig gøre: hoppet går så hurtigt, at det tyktflydende grænselag, der normalt omgiver små vanddyr, når de svømmer, simpelthen ikke udvikles.

ner af, hvordan mikroskopiske organismer tilsyneladende kan registrere og reagere på væskeforstyrrelser – fra bytte, mage, eller rovdyr. Der skal formel fysik til for at forstå, at en lang række vidt forskellige situationer alle kan forklares ved én og samme mekanisme, nemlig at en væske, der forstyrres, ikke kun bevæger sig og roterer men også “deformeres”, og at det netop er dét, organismerne kan registrere. Hermed er en vigtig mekanisme for interaktioner mellem små akvatiske organismer afdækket.

Hvad skal der til?

I begge tilfælde har spørgsmålene kunnet formuleres som *gode problemer*, men de har samtidig været formuleret af biologer og været begrundet i et biologisk spørgsmål. Og i begge tilfælde har der været tale om, at kombinationen af veletablerede observationer og mekanismer fra to fagområder har ført

til ny indsigt. Biologerne har stillet spørgsmål, som de ikke kunne besvare, og fysikerne har besvaret spørgsmål, de ikke kunne stille. Forudsætningen for dette samarbejde er, at biologerne formulerer deres spørgsmål som et *godt problem*.

En anden måde at forene disciplinerne er ved at formulere nogle overordnede problemstillinger og her ud fra i fællesskab at definere de mere specifikke forskningsspørgsmål. Det er fremgangsmåden i *Centre for Ocean Life*, hvor forskellige fagdiscipliner samles om en overordnet opgave: At forstå hvordan marine økosystemer fungerer og ved hjælp af modeller forudsige, hvordan de vil reagere på miljøændringer, klimaændringer og fiskeri.

Den overordnede metode er inspireret af fysikkens evne til forenkling: Marine økosystemer består af



Ocean Life Centre for Ocean Life
VKR Centre of Excellence

Centre for Ocean Life (www.oceanlifecentre.dk) er et tværfagligt forskningscenter hvor biologer, fysikere, matematikere og kemikere studerer livet i havet og udvikler modeller af marine økosystemer med henblik på at kunne vurdere effekter af klimaændringer, fiskeri, og andre miljøpåvirkninger. Centret er oprettet af Villum Fonden som et VKR Center of Excellence og engagerer studerende, post docs, og forskere fra DTU, KU og RUC.

Videre læsning

Steven Vogel, *Life in Moving Fluids*, 2. udgave, Princeton University Press, 1994.

Steven Vogel, *The Life of a Leaf*, The University of Chicago Press, 2012.

Toward a Synthesis of the Newtonian and Darwinian Worldviews, John Harte, *Physics Today*, side 29-34, oktober 2002.

tusinder og atter tusinder af arter, der vekselvirker med hinanden og med det omgivende miljø, men vi kan ikke modellere denne kompleksitet ved at beskrive art efter art – sådanne modeller bliver lige så komplicerede som den natur, vi vil beskrive. Traditionelt løses dette problem ved at ignorere kompleksiteten og gruppere arter, der er nogenlunde ens i nogle få typer. Men man kan omfatte naturens kompleksitet ved i stedet at beskrive *individ*er, der er karakteriseret af nogle få *træk* – så få som muligt, men nok til at få det væsentlige med – og så lade individer vekselvirke med hinanden og med miljøet.

Et eksempel på et *træk* er evnen til at lave fotosyntese. Hvert træk har nogle fordele og nogle omkostninger (*tradeoffs*): Det koster at have et fotosynteseapparat, men fotosyntesen leverer organisk stof til plantens vækst. Det er individernes kombinationer af træk med hver deres fordele og ulemper, der afgør

hvilke der er de bedst egnede i et givet fysisk miljø. De bedst egnede individer overlever, og det resulterende økosystem opstår ved emergens. Vi udnytter altså det Darwinistiske princip om *survival of the fittest*, men har – paradoksalt nok – forladt artsbegrebet.

Darwin og Newton

Forudsætningen for den trækbaserede måde at beskrive økosystemer på er, at vi kan kvantificere fordele og ulemper ved ethvert "*træk*". Organismer fungerer i overensstemmelse med fysikkens love og er et produkt af evolution drevet af naturlig selektion. Og netop ved i et samarbejde mellem discipliner at udnytte Darwins og Newtons love kan vi opnå en kvantitativ, mekanistisk forståelse af fordele og ulemper ved hvert essentielt træk. Vi kan for de forskellige livsformer i havet definere de få essentielle træk, der tilsammen bedst beskriver organismernes Darwinistiske "fitness". Herved bliver vi i stand til at udvikle en forståelse for, hvordan marine økosystemer fungerer, og vi bliver måske i stand til at lave robuste forudsigelser.

Forudsætningen er, at vi kan få disciplinerne til at arbejde sammen. Fysikere og matematikere kan hjælpe med at sætte den dybe indsigt som naturhistoriske observationer kan tilvejebringe på formel. Og generalisere den – så den kan operationaliseres i modeller af marine økosystemer. ■

Hvis du havde én dag.....

...som studerende på en naturvidenskabelig uddannelse

Så kunne du

- Opleve studiemiljøet
- Snakke med en studerende
- Være med til undervisningen
- Prøve en helt almindelig dag på studiet



Bliv studerende for en dag

WWW.SDU.DK/BROBYGNING

Det molekylære køkken

Anmeldt af Ole G. Mouritsen, professor, Syddansk Universitet, ogm@memphys.sdu.dk

Man skal ikke lade sig afskrække af forsiden på denne bog: Det er ikke bare en bog om mad, der laves med sprøjter og pipetter. Når det så er sagt, skal det fremhæves, at Jozef Youssefs bog er én af de mest systematiske, jeg har set om molekylær gastronomi. Forfatteren gør sig især umage med omhyggeligt at beskrive de teknikker og de specielle redskaber, som bruges i det, der er blevet kaldt det molekylære køkken. Og som det er tilfældet med det meste af det, der kaldes molekylær gastronomi, beskæftiger denne bog, bortset fra navne på kemiske stoffer, sig kun lidt med molekyler eller forklaringer på et molekylært grundlag.

Forfatteren har en baggrund fra engelske top-restauranter, inklusive The Fat Duck, og han er dybt interesseret i videnskaben bag gastronomien. Senest har han udviklet et projekt, som han kalder "Kitchen Theory," der afholder eksperimentelle multisensoriske middage i London.

Teknikken i fokus

Bogen starter med en kort historisk indledning til gastrofysik og molekylær gastronomi samt en oversigt over de forskellige redskaber (elektroniske vægte, blendere, sous vide bade, vakuumeringsudstyr, røgpistoler og dehydratorer) og råvarer (især emulgerings- og geleringsmidler), som bogen bygger på. Derefter følger bogens centrale indhold med 15 kapitler, der dækker 15 teknikker. Nogle eksempler er sfærifikation, skumdannelse, dehydrering, infusion og fermentering. For hver teknik har hvert kapitel samme struktur: baggrund, en videnskabelig forklaring, metoder, redskaber, nyttige tips og så en serie velvalgte opskrifter, som viser, hvordan man anvender og tester sine evner med at bruge teknikkerne til fremstilling af en ret. Her er masser af lækre retter at vælge imellem, fx mangosfærer, smoky rum cocktail, parmesanluft, græskar sous vide, spicy rejepølse med transglutaminase, krabemousse, tranebærmarengs og citroninfuseret olivenolie. Der er også beskrivelse af teknikker, som nok bedst kendes fra kemilaboratoriet, såsom centrifugering, rotationsfordampning og ultrasonisk homogenisering, og vi slipper heller ikke for den efterhånden for-



tærskede anvendelse af flydende kvælstof til hurtig køling. Endelig indeholder bogen til sidst nogle mere specialiserede afsnit om hydrokolloider, umami, sensorik (multisensorisk smagsoplevelse og neurogastronomi) og såkaldt food pairing. Det afsluttende kapitel omhandler anretning og præsentation og er dermed med til at understrege det æstetiske element af mad og madnydelse.

Eksemplarisk formidling

Det er meget i én bog, men jeg synes, at Jozef Youssef kommer godt af sted med en helstøbt bog, som er overskuelig, systematisk og inspirerende.

Bogen er flot illustreret med smukke fotos af råvarer og anretninger, og de forskellige slags køkkengrej er vist med enkle pikto-grammer som en naturlig udvidelse af de klassiske ingredienslister, der ledsager en typisk opskrift.

Som naturvidenskabsmand kan man jo altid finde nogle fejl og misforståelser i en sådan bog, men de er ikke graverende eller skaber forhindringer for forståelsen. Forfatteren har tydeligvis en god forståelse af og viden om naturvidenskab, og han formidler sit budskab eksemplarisk og med entusiasme. Bogen er god til at blive klogere af for den generelt interesserede, den kan anvendes som kokebog, og jeg vil tro, at mange eksperimenterende kokke vil have stor glæde af bogens systematiske tilgang, som ikke på noget tidspunkt mister jordforbindelsen til køkkenet og det at lave spændende og velsmagende mad.

Jozef Youssef: *Det molekylære køkken*. Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck, 240 sider, 269,95 kr. ■



Invitation til matematikkens videnskabsteori

Hvad handler matematik om? Hvordan man opnår sikker viden om matematiske sammenhænge? Hvad gør matematikere for at få ideer? Og hvilken rolle spiller matematiske beviser i matematikken? Det er nogle af spørgsmålene, som besvares bogen *Invitation til matematikkens videnskabsteori*. Mikkel Willum Johansen og Henrik Kragh Sørensen giver en sammenhængende introduktion til erkendelsesteoretiske, sociologiske og etiske aspekter af de matematiske videnskaber.

Mikkel Willum Johansen og Henrik Kragh Sørensen: *Invitation til matematikkens videnskabsteori*. Samfundslitteratur 2014. 265 sider, 299,- kr.



Dagsommerfugle

Det nye nummer af *Natur og Museum* fra Naturhistorisk Museum i Aarhus handler om dagsommerfugle. Det er skrevet af biologerne Morten D. D. Hansen og Anne Eskildsen. Her kan man læse om dagsommerfuglernes liv og livsvilkår i dagens Danmark. Arter forsvinder i rivende hast, men der står også en række arter på spring til at brede sig sydfra i takt med, at klimaet bliver varmere.

Morten D.D. Hansen og Anne Eskildsen. *Dagsommerfugle*. *Natur og museum* nr. 1/2014. 36 sider, 60,- kr. www.nathist.dk

Aktuel NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

- Danmarks Tekniske Universitet
- Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Det Naturvidenskabelige Fakultet og Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- Roskilde Universitetscenter
- Danmarks Meteorologiske Institut.

Styregruppe

- **Bo T. Andersen**, afdelingsleder, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Joachim Groth**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Tine Kjær Hassager**, kommunikationschef, Danmarks Tekniske Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Elin Møller**, kommunikationschef, AU Kommunikation, Science and Technology, Aarhus Universitet
- **Carsten Nielsen**, videnskabsjournalist, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet

Redaktionsgruppe

- **Mette Christina Møller Andersen**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Michael Bjerring Christiansen**, Aarhus Statsgymnasium
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Niels Hansen**, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Carsten Rabæk Kjaer**, Aktuel Naturvidenskab
- **Carsten Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Hans Ramløv**, Roskilde Universitet
- **Line Reeh**, DTU AQUA, Danmarks Tekniske 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

Kommunikationschef Elin Møller

Redaktion

Redaktør Jørgen Dahlgaard og redaktør 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 2014

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

Abonnementsservice

Portoservice, Postboks 9490, 9490 Pandrup

Telefonnr.: 70 25 55 12

e-post: aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Eller via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Layout og illustration: Jørgen Dahlgaard og Britta Munter

Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S

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

Oplag: 8.800

Omslagsfoto:

Et kig ind i pressekammeret på CMC's Spark-Plasma Sintering presse på Aarhus Universitet. Foto: Henrik Volkersen, H.V. Lukas.



Fagpanel

Aktuel Naturvidenskab samarbejder med en bred skare af fagfolk, der stiller deres faglige viden til rådighed for bladet.

- **Katrine Krogh Andersen, ph.d.**, forsknings- og udviklingschef, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Flemming Besenbacher**, professor, Interdisciplinært Nanoscience Center (iNANO), Aarhus Universitet
- **Claus Hviid Christensen**, senior manager, Innovationscenter, Dong Energy
- **Jesper Dahlgaard, ph.d.**, Aarhus Universitetshospital og Psykologisk Institut, Aarhus Universitet.
- **Ture Damhus**, Kemiker ved Novozymes samt formand for Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg
- **Søren B. F. Dorch**, astrofysiker ph.d., bibliotekschef, Syddansk Universitetsbibliotek, adjungeret lektor ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet
- **Michael Drewsen**, professor, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet
- **Claus Emmeche**, lektor, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.
- **Tom Fenchel**, professor emeritus, Marinbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet
- **Jens Morten Hansen**, statsgeolog ved GEUS samt adjungeret professor i naturfilosofi ved Københavns Universitet
- **Palle Høj Jakobsen**, direktør, leder af R&D Academic Relations, Novo Nordisk A/S
- **Vagn Lundsgaard Hansen**, professor, Inst. for matematik, Danmarks Tekniske Universitet
- **Peter K.A. Jensen**, adm. overlæge, Klinisk genetisk Afdeling, Aarhus Universitetshospital
- **Mikkel Willum Johansen**, adjunkt i de matematiske fags videnskabsteori, Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet
- **Peter C. Kjærgaard**, professor, Institut for Kultur og Samfund, Aarhus Universitet
- **Gunnar Larsen**, geolog, NIRAS.
- **Bent Lauge Madsen**, biolog (pensioneret fra Miljøministeriet).
- **Sebastian H. Mernild**, Klima- og Polarforsker, Glaciology and Climate Change Laboratory, Center for Scientific Studies/Centro de Estudios Científicos (CECs), Chile
- **Ole G. Mouritsen**, professor, Institut for Fysik, Syddansk Universitet.
- **Bent Nielsen**, gymnasielektor, Københavns VUC.
- **Jens Olaf Pepke Pedersen**, seniorforsker, DTU Space.
- **Kaj Sand-Jensen**, professor, Sektion for Ferskvandsbiologi, Biologisk Institut, Københavns Universitet.
- **Theresa S. S. Schilhab**, forsker, Forskningscentret Gnosis, Aarhus Universitet
- **Klaus Seiersen**, ph.d., Aarhus Sygehus, Afd. for Medicinsk Fysik.
- **Carl-Erik Sølberg**, civilingeniør, Institut for Fysik, Aalborg Universitet.

GRUNDFOS



Tilbud

**Intropakken – en oplagt gaveide**

Bestil en intropakke med de seneste otte numre samt abonnement i ét år (6 numre). Pris kun kr. 354,- inkl. moms, porto og ekspedition (merpris for udland).

Bestil via aktuelnaturvidenskab.dk
 red@aktuelnaturvidenskab.dk
 eller på tlf. 70 25 55 12.

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.

Adgang til pdf-udgave

Som noget helt nyt kan abonnenter nu hente artiklerne som pdf allerede på udgivelsesdagen via hjemmesiden:

Brugernavn: **aktuelnr1**

Kodeord: **ckn39kro**

Du logger på via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk hvor du vælger punktet "Nyeste numre" (1-2014). Herefter kan du logge på i højre side.

Tilbud til gymnasieskolen



Foto: Lars Kruse

Ny inspiration til din undervisning?

Er du faglærer i naturvidenskab og teknik kan du få ny inspiration gennem *Aktuel Naturvidenskab*. Tidsskriftet er fyldt med dybdegående artikler skrevet af forskerne selv og udkommer seks gange om året.

- Din skole kan tegne et skoleabonnement med gode rabatter, så hele lærergruppen kan læse bladet.
- Et abonnement giver også adgang til alle artikler fra de tidligere numre.
- Der er mange eksempler på hvordan du kan bruge materialet i undervisningen.
- Helt oplagt i forbindelse med større skriftlige opgaver og temaundervisning.

Se mere på: aktuelnaturvidenskab.dk

Her finder du et komplet artikelarkiv samt undervisningsmateriale til flere artikler

Priseksempel

Årsabonnement med 6 numre:
 Pakke leveret til dit gymnasium med 20 numre koster 950 kr. inkl. fragt

Se flere tilbud på:
<http://aktuelnaturvidenskab.dk/abonnement/>

På fotojagt efter leoparder

Af Rasmus Gren Havmøller, ph.d.-studerende, Center for Makroøkologi, Evolution og Klima og Center for GeoGenetik, Københavns Universitet.

Leoparden er et af Afrikas mest ikoniske dyr, men det er faktisk overraskende lidt, vi ved om denne elegante jæger. Fx ved vi ikke, hvor mange der er, eller om leoparder fra bjergene er genetisk tæt beslægtede med dem på savannerne.

Leoparder er de mindst studerede af de store katte, og de studier, som er udført, er primært fra savannen. Derfor satte jeg ud for at studere leoparder i Udzungwabjergene i Tanzania som led i mit ph.d.-projekt. Bjergene er kendt som Afrikas Galapagos, fordi det er regnskov i et hav af savanne, hvor en meget stor andel af fugle, dyr og planter er unikke (endemiske) for området.

Man kan dog ikke bare marchere ud i regnskoven og studere leoparder! Det er faktisk slet ikke let at studere noget som helst i en regnskov. Så jeg var bevæbnet med 60 kamerafælder, som tager et snapshot, når noget bevæger sig ind foran dem.

Derudover indsamlede jeg lort – med handsker, for ikke at forurene lorten med mit eget DNA. Lorten bruges til genetiske studier, som giver mig mulighed for at undersøge, om Udzungwaleoparderne parrer sig med leoparderne på de omkringliggende savanner.

Stroppetur i regnskoven

Dagens program står på små 25 km vandretur. Arbejdsdagen starter ved solopgang efter en hurtig omgang bødder og ris, og vi er som regel tilbage i lejren en time før solnedgang. Lige tids nok til at få et tiltrængt bad og få vasket sokker og underhakkere for at undgå at ens ekstremiteter går i forrådnelse. Efter aftensmaden kollapser man af træthed. Og sådan er hver dag i godt 14 dage ad gangen.

Vandreturene i skoven er i sig selv en udfordring. Er vi heldige, finder vi en elefantsti tidligt på dagen og følger den så langt, vi kan, i forhold til, hvor GPS'en siger, at det næste kamera skal opsættes. Er vi uheldige, skal der hakkes en vej til destinationen, og til tider kan det bedre betale sig at kravle. En sådan dag havde vi som en af de første, hvor vi i en stiv klokke time måtte kravle på alle fire.

Masser af leoparder

Mit første møde med en leopard blev en trist affære: Den var død, viklet ind i en krybskyttesnare. Og sådan fandt vi mange dyr i krybskytternes fælder: Skovantiloper, vildsvin, perlehøns, elefanter og sågar et øresvin, og det understregede det stærkt voksende problem i nationalparken. Det giver kamerafælderne endnu en rolle, for krybskytterne går også



En leopard fotograferet af en "kamerafælde" i regnskoven.
Indsat foto: "Knips" – en krybskytte er gået i kamerafælden.

i kamerafælderne, og billederne kan bruges som bevis, når nationalparken efterforsker krybskytteri.

Heldigvis var der i skoven mange tegn på leoparder: potespor, kradsemærker på træer og en god håndfuld lorte. Da jeg en måned senere fik kamerafælderne tilbage, fandt jeg til min store glæde, at de havde "fanget" ikke mindre end 24 forskellige leoparder!

Kamerafælderne havde også knipset mange andre dyr, fx flere arter af skovantiloper, som forventes at være leopardernes fødekilde. De indsamlede lorte afslørede, at en stor del af leopardernes føde består af aber. Det var en overraskelse, for jeg så ikke aber i kamerafælderne, og de kommer sjældent ned på jorden.

Mit studie kan nu hjælpe os med bedre at forstå de truede leoparders levevis, deres fødevalg og tilpasningsevne til forskellige habitater. Det er en forudsætning for at give mere kvalificerede bud på, hvordan vi kan beskytte dem i fremtiden – fx når miljøet forandrer sig. ■

