

# Aktuel NATURVIDENSKAB

5 | NOVEMBER | 2015

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00

## Kviksølv i Østersøen



Universets skabelse set fra Indlandsisen

Bier og sprøjtemidler – en farlig cocktail?

Når nordlyset fænger

# Forskningsfriheden flyver

**Regeringens besparelser på forskningsbudgettet bekymrer forskere og erhvervsfolk. Det danske forskningsmirakel bygger på stabilitet og diversitet i forskningsverden, som det er svært at skabe politisk forståelse for.**

Forfatterne



Jacob Busch,  
ekstern lektor  
jacobbusch@css.au.dk



Kristian Hvidfelt Nielsen,  
lektor, khn@css.au.dk

Begge ved Center for  
Videnskabsstudier,  
Aarhus Universitet

Sidst i oktober måned indgik alle partier i Folketinget et forlig om forskningsbudgettet. Regeringen havde i sit finanslovsudspil lagt op til besparelser, og værst skulle det gå ud over Det Frie Forskningsråd. Forliget betyder en mindre besparelse end først foreslået af regeringen, men dog alligevel 22 % mindre til fri forskning næste år i forhold til i år.

Besparelserne har givet anledning til kritik. Forskningsrådets bestyrelsesformand Peter Munk Christiansen udtalte sig i uvant skarpe vendinger, da han sagde, at regeringens forslag ville få fundamentet for det danske forskningsmirakel til at vakle.

Fra industriens direktørgange blev det tunge skyts taget i brug mod regeringens samlede besparelser på forskningen. I et debatindlæg i *Berlingske* skrev Mads Krogsgaard Thomsen, koncerndirektør for forskning og udvikling, Novo Nordisk, og Jens Klarskov, adm. direktør for Dansk Erhverv, at »det danske forskningstræ beskæres alt for voldsomt, og regeringen risikerer med en sådan varmemesterbeskæring at ramme høsten af forskningen til skade for erhvervslivet og beskæftigelsen.«

## Det danske "forskningsmirakel"

Det Frie Forskningsråd er en vigtig finansieringskilde for universitetsforskere. I forvejen er succesraten for ansøgninger meget lav, ca. 10 %, og besparelsen vil alt andet lige reducere den yderligere. Den lave succesrate betyder, at mange forskere bruger megen tid på at skrive ansøgninger uden resultat. Tiden kunne være blevet brugt bedre, fx på fri forskning.

I sammenligning med andre lande ligger Danmark helt i top, hvad angår offentlige forskningsbevillinger og gennemslagskraft i forskningsverdenen. En undersøgelse foretaget af det svenske videnskabsakademi i 2012 konkluderede, at danske forskere klarer sig bedre end kolleger i andre sammenlignelige lande, målt på en række indikatorer, fx citationsrate (højt tal) og antal ikke-citerede artikler (lavt). Svensk forskning har omvendt oplevet en relativ nedadgående tendens.

Baggrunden for den danske succes, vurderede undersøgelsens forfattere, er, at Danmark siden begyndelsen af 1990'erne har satset massivt og målrettet på at skaffe flere ressourcer og forskningstalenter til forskningsverden – en satsning, der vel at mærke skyldes både offentlige og private aktører. Den høje

andel af basismidler og sikring af frie forskningsmidler udgør væsentlige faktorer for det danske forskningsmirakel. Stabilitet og langtidspanlægning er grundlaget for forskningsmæssig kvalitet og samfundsrelevante anvendelser af forskningen.

Som modsætning til Danmark står Sverige, hvor udviklingen har været præget af en række forskellige ad hoc-løsninger med fokus på kortsigtet gevinst.

## Pas på balancen

Sund forskningspolitik består først og fremmest i at sikre forskningens rammebetingelser, herunder andelen af midler til fri forskning. Forandringer i forskningssystemet bør ske på et grundlag af solid viden om, hvad der virker, men regeringens besparelser synes motiveret af anekdoter om den frie forsknings unyttige natur, jf. Esben Lunde Larsens udtalelser om "Krølle Bølle-forskning" sidste år. Forskning er i sig selv en kompliceret affære, og vekselvirkningen mellem forskningssystemet og det øvrige samfund er dynamisk.

Vores viden om forskningssystemet står langt fra mål med dets kompleksitet, og det medfører i værste fald, at nye forskningspolitiske tiltag slår fejl. Der er brug for mere viden om, hvad der har gjort Danmark til en internationalt førende forskningsnation.

Den politiske målsætning om, at forskning primært skal være "jordnær", altså bidrage til at styrke vækst, velfærd og udvikling, er typisk ledsaget af en misforstået underkendelse af den frie forsknings betydning for forskningen og dens konkrete effekter i samfundet. Forskningsfrihed er under alle omstændigheder ikke ubetinget. Forskere orienterer sig efter, hvad deres fagfæller verden over arbejder med, og det er med til at sikre både toppen og bredden i det danske forskningssystem. Mange undersøgelser peger på, at fri forskning også er med til at løse konkrete samfundsmæssige og globale udfordringer.

De fleste forsøg på at holde forskningen "på jorden" gennem øget detailstyring er uproduktive og selvmodsigende. Indtil videre har forskningsfrihed og kontinuitet udgjort vigtige elementer i den konstruktion, der har gjort dansk forskning flyvende. Faren for at ende som en forskningsnation med stækkede vinger er til stede, hvis vi ikke fremover sikrer forskningens stabilitet, diversitet og nytænkning gennem en bred vifte af faste og frie forskningsstøtteprogrammer. ■

# Indhold



## Universets skabelse set fra Indlandsisen

# 11

“Deep Space” bliver det første teleskop på Grønland, der skal studere den kosmiske mikrobølgebaggrundsstråling og dermed bidrage til at forstå, hvordan Universet blev til.

## FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
Et hattrick til neutrinforskningen - Nobelprisen i fysik.....	8
Universets skabelse set fra Indlandsisen.....	11
Kulstof i havet - en tynd kop te?.....	14
Fra notesbøger til public domain.....	18
Kviksølv i Østersøen.....	20
Bier og sprøjtemidler - en farlig cocktail?.....	26

## PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: Forskningsfriheden flyver.....	2
Debat: Forfejlet kritik fra Center for Is og Klima.....	32
Hvordan kan man sige nej til GMO?.....	34
Når nordlyset fænger.....	38
Bogomtaler.....	43
Bagsiden: Øl og god kemi hænger sammen.....	44



## Kviksølv i Østersøen 20

Mange fisk og muslinger fra Østersøen indeholder så meget kviksølv, at det overskrider miljøkravene fra EU. Ved hjælp af modeller arbejder Anne Lærke Sørensen på at få en bedre forståelse af, hvordan kviksølv cirkulerer i Østersøen, og hvad vi kan forvente af problemer i fremtiden.

## Det var usundt at være rig i Middelalderen

Livet for Middelalderens velhavende borgere bød ikke kun på fordele: De blev nemlig oftere eksponeret for bly end de fattige.

»Blyforgiftning – eller blysyge, som det blev kaldt – kan blive konsekvensen, når man indtager bly, som er et giftigt tungmetal. I Middelalderen var det næsten uundgåeligt at indtage bly, hvis man var velhavende byboer. Men hvad der måske er endnu mere alvorligt, er, at indtagelse af bly kan give lavere intelligenskvotient hos børn. Det kan have haft store konsekvenser for datidens samfund,« fortæller lektor Kaare Lund Rasmussen, Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, SDU, der sammen med kolleger har undersøgt 207 skeletter fra seks kirkegårde i Nordtyskland og Danmark. »Der er virkelig stor forskel på hvor meget bly, folk havde i kroppen, afhængig af om de kom fra landet eller byen. Vi ser næsten ingen bly i skeletterne fra landsogne, mens niveauerne var høje i by-skeletterne,« siger Kaare Lund Rasmussen.

I Middelalderens Nordtyskland og Danmark boede velhavende mennesker primært i byerne, mens landbefolkningen var fattigere og levede mere isoleret. Velhaverne havde råd til at spise og drikke af glaseret lertøj, og det var særligt herfra, de blev udsat for bly.

»Man brugte blyoxid til at glasere lertøj. Det var både praktisk at gøre rent og smukt at se på, og derfor forståeligt nok i høj kurs. Men hvis man opbevarede salte og sure madvarer i et glaseret lertøj, så blev lidt af glasuren opløst og blyet kunne sive ud i madvarerne,« forklarer Kaare Lund Rasmussen.



Indholdet af bly i middelalderskeletter antyder, at det havde sine bagsider at være velhavende.

Foto: Birgitte Svennevig

Ude på landet var der ikke nær så ofte råd til glaseret lertøj – og der var formentlig heller ikke let adgang til det, selv hvis man havde penge. I stedet brugte landbefolkningen u-glaseret lertøj – og slap altså for det giftige tungmetal.

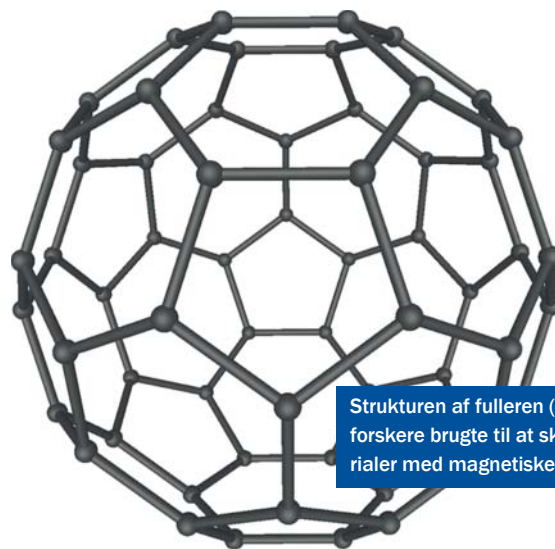
Birgitte Svennevig, Kommunikationsmedarbejder ved SDU, Kilde: *Jour. of Archaeological Science: Reports, Vol. 3, pp 358–370.*

## Forskere laver ny type magnet

Ved hjælp af avanceret nanoteknologi har forskere fra Leeds Universitet i England skabt nye typer magneter. Magneterne er skabt af metaller, der normalt ikke var mulige at magnetisere. Oscar Cespedes ledte denne opdagelse, som blev offentliggjort i *Nature* 6. oktober 2015. I naturen eksisterer kun få metaller, der har magnetiske egenskaber. Heller ikke kobber og mangan har magnetiske egenskaber fra naturens side, men i denne opdagelse blev de brugt til at skabe en ny type magnet. Forskerne byggede magneten af tynde lag af disse metaller, der blev lagt på lag af kulstof-molekyler ved navn fulleren. Fulleren består af 60 kulstof-atomer, der danner et gitter på samme måde som mønsteret på en fodbold. Når forskerne udsatte materialet for et ydre magnetfelt, blev materialet ved med at være magnetisk, når magnetfeltet blev slukket. I alt bevarede magneten 10 % af det ydre magnetfelt.

Den nye teknik kan skabe et mere miljøvenligt alternativ til magneter, der bliver brugt i industrien og andre steder. Fx på hospitaler, hvor man bruger MR-scanninger (magnetisk resonans scanning), som er en teknik, der scanner kroppen ved hjælp af magneter og radiobølger til at undersøge de indre, bløde dele af kroppen. Til MR-scanninger er det nødvendigt med kraftige magneter, som i dag er baseret på sjældne jordarter.

Forskernes nye magneter er dog for svage til at blive brugt til MR-scanninger eller lignende anvendelser. Og effekten forvinder efter nogle dage. Der er derfor stadig meget mere arbejde at gøre, erken-



Strukturen af fulleren (C60), som forskere brugte til at skabe nye materialer med magnetiske egenskaber.

der Cespedes. Men han vurderer det er muligt, at magneternes styrke og holdbarheden af deres magnetiske egenskab kan øges. Enten ved at opbygge materialet anderledes eller ved at bruge andre materialer.

Rasmus Brøgger Najbjerg, Cand.scient.-studerende på Aarhus Universitet. Kilde: *Al Ma'Mari F. et al. Nature 524, 69–74 (2015).*

## Træningsrobot modvirker tyngdekraften

En ny, fintfølede robot skal hjælpe patienter, der ikke selv kan løfte armene. Den modvirker tyngdekraften og gør træningen nemmere ved at aflæse patientens behov. Robotten hedder RoboTrainer Light og er tredje generation af robotter til genoptræning udviklet på Syddansk Universitet. Den består i alt sin enkelthed af en snor, der er forbundet til en motor. Når patienten trækker i snoren, kompenserer motoren for armens egen vægt, og man kan på den måde få motioneret musklerne ved egen kraft, selvom patienten ikke er stærk nok til at løfte sin arm. »Det kan sammenlignes med at stå med kroppen under vand i svømmehallen og bevæge sine arme. Det kræver en indsats, selvom armene holdes oppe af sig selv,« siger lektor Anders Steengaard Sørensen fra Mærsk Mc-Kinney Møller Institutet på SDU.

Den simple opbygning gør både robotten billig at producere og nem at anvende – og netop det, at træningen kan foregå på egen hånd i hjemmet, er en stor styrke.

Den første genoptræningsrobot fra Mærsk Mc-Kinney Møller Institutet, RoboTrainer, blev udviklet i samarbejde med den tidligere jægersoldat Allan Lauritsen. Han blev lam i store dele af kroppen efter en faldulykke, som ødelagde knogler og muskler i hans arm, skulder og ben. Trods lægernes prognoser genvandt Allan Lauritsen størstedelen af sine fysiske evner ved hjælp af et selvudviklet træningsprogram. I 2011 tog han kontakt til forskerne, som i samarbejde med ham udviklede den første RoboTrainer.

Mette C. Møller Andersen, Det Tekniske Fakultet, SDU



Foto: Hans Kristian Hannibal-Bach

## Nobelpris til DNA-forskere

Efter afklaringen af DNA's struktur i 1953 var opfattelsen i tiden derefter, at DNA var et meget stabilt molekyle. Og umiddelbart skulle man da også tro, at et så afgørende molekyle for alt liv må være en solid konstruktion. Men det er langt fra tilfældet. Hver eneste dag nedbrydes DNA'et i vores celler af fx UV-stråling fra Solen, frie radikaler eller andre kræftfremkaldende stoffer. Udover disse angreb udefra opstår der hver dag tusindvis af spontane ændringer i DNA'et, ligesom der opstår fejl, når DNA'et kopieres ved celledeling. Faktisk skades DNA med en hastighed, der ville have gjort det umuligt for liv at udvikle sig på Jorden, hvis ikke der er mekanismer, der retter op på skaderne. Det viste den svenske kræftforsker Tomas Lindahl i begyndelsen af 1970'erne, og det lykkedes ham også at identificere et molekylært maskineri, der konstant modvirker nedbrydningen af vores DNA.

For dette er Tomas Lindal nu hædret med Nobelprisen i kemi sammen med to andre forskere, den tyrkiske Aziz Sancar og amerikaneren Poul Modrich. Aziz Sancar har kortlagt en reparationsmekanisme, som cellerne bruger til at reparere skader efter UV-stråling, mens Poul Modrich har vist, hvordan celler retter de fejl, der opstår i DNA'et under celledeling.

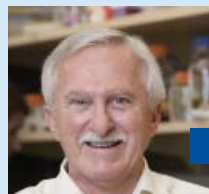
Tilsammen har de tre forskere bidraget med fundamental indsigt i, hvordan levende celler fungerer, og denne viden bruges bl.a. i udviklingen af behandlinger mod kræft.

### Prismodtagerne



Tomas Lindahl

Foto: Cancer research UK



Poul Modrich

Foto: HHMI, Duke University



Sancar Aziz

Foto: M. Englund, UNC-School of Medicine

CRK, Kilde: [www.nobel.se](http://www.nobel.se)  
I næste nummer bringer vi en længere artikel, der udfolder perspektiverne i det nobelprisbelønnede arbejde.

## Modeller skal give bedre høreapparater

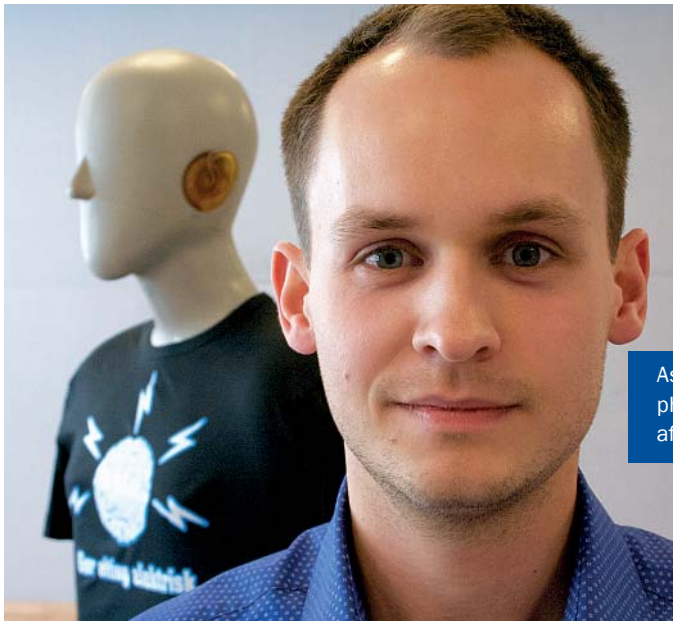


Foto: Jakob Brodersen

Asger Heidemann Andersen arbejder i sin Erhvervsph.d. på at udvikle et system, der kan skære tusindvis af arbejdstimer af udviklingen af høreapparater.

hvilke der ikke skal, så høreapparaterne fremhæver stemmer, men ikke forstyrrende baggrundsstøj.

Når producenter i dag udvikler nye høreapparater, går der lang tid med at teste systemerne for at finde ud af, om de fungerer, som ingeniørerne forventer. Det foregår i praksis ved, at man gennemfører lytte-test i et lydstudie, hvor en lang række forsøgspersoner med høreapparater skal lytte til tale med forskellige grader af baggrundsstøj for at afgøre, hvilke apparater der fungerer bedst.

Udbredelsen af bærbare musikafspillere, og det faktum at befolkningen i gennemsnit bliver ældre, betyder, at flere lider af høreproblemer. Skønsmæssigt har 800.000 danskere nedsat hørelse, men i langt de fleste tilfælde kan det afhjælpes af høreapparater. ErhvervsPhD-studerende Asger Heidemann Andersen fra Aalborg Universitet forsker sammen med danske Oticon i en metode, der kan udvikle endnu bedre høreapparater på kortere tid.

Hørelsen er en kompliceret størrelse, og der er ikke to høretab, der er ens. Man kan have mistet en del af hørelsen i de lyse områder, i de dybe områder eller i mellemtoneområdet, som er det område, normale stemmelejer befinder sig i, når vi taler sammen. Derfor er moderne høreapparater udstyret med meget avancerede computere, som forsøger at regne ud, hvilke lyde der skal forstærkes, og

Processen er dyr og langvarig og tager normalt mange måneders arbejde for ingeniører, teknikere og forsøgspersoner. Asger Heidemann Andersen prøver i stedet at udvikle en computermodel, der kan forudsige, hvor godt et apparat vil hjælpe en hørehæmmet. For at kunne gøre det, arbejder han på at klarlægge, hvilke parametre der er afgørende for menneskers evne til at skelne tale fra baggrundsstøj. Resultatet er matematiske modeller af, hvad der får os til at forstå tale, og hvad det præcis er for dele af den lyd, der kommer ind i ørerne på os, der gør at vi kan forstå hinanden.

Selv om høreapparater normalt er et hjælpemiddel til mennesker, der har mistet hørelsen, kan de avancerede modeller, Asger Heidemann Andersen arbejder med, også være interessante for personer, der ellers ikke lider af høreproblemer. Fx kan løsninger til at forbedre taleforståelsen i omgivelser med meget baggrundsstøj også være nyttige for normalthørende.

*Jakob Brodersen, Aalborg Universitet*

## Mørkere is i Grønland?

Målinger af jordoverfladen fra NASA's Terra-satellit har vist, at der over årene er blevet reflekteret mindre lys fra isoverfladen af den grønlandske is. Det antyder, at isen er blevet mørkere, hvilket er tilskrevet en øget mængde af støv- og sodpartikler på isen, der stammer fra menneskelige aktiviteter. Men nu mener amerikanske forskere, at disse resultater snarere skyldes en gradvis forringelse af sensorerne på satellitten, end at der reelt er kommet mere sod og støv på den grønlandske is. Forskerne har bl.a. analyseret prøver fra Nordvestgrønland fra perioden 2012-2014 og beregnet de mørke partiklers effekt på isens albedo (som udtrykker forholdet mellem indkommet lys og reflekteret lys). Resultaterne viser, at der ikke er sket en signifikant ændring i koncentrationen af mørke partikler i forhold til de forudgående tiår.

CRK, Kilde: *Geophys. Res. Lett.*, DOI: 10.1002/2015GL065912



Ny forskning tyder på, at isen i Grønland ikke er blevet mørkere de senere år, som satellitmålinger ellers har vist.

## Da pesten inficerede europæerne

Er der noget, som har vendt op og ned på den europæiske historie, så er det en lille bakterie ved navn *Yersinia pestis* – pest-bakterien. Bl.a. i midten af Det 14. Århundrede og de følgende århundreder, hvor pesten udryddede mellem 30 og 50 procent af Europas befolkning og fik tilnavnet: “Den sorte død” pga. sorte hudpletter på ofrene.

Men hvornår opstod de første tegn på pest i Europa? Hidtil har forskerne kunne føre bakterien tilbage til år 500 før kristi. Til det gamle Grækenland, efter at bakterien havde taget turen fra Asien til Europa. Pesten medførte, ifølge nogle historikere, at det antikke Grækenland kollapsede.

Men nu har forskere på bl.a. Københavns Universitet med bl.a. professor Eske Willerslev og DTU ført den europæiske pesthistorie endnu længere tilbage – ca. 3.300 år tilbage til Den Europæiske Bronzealder. På det tidspunkt var der opbrud i forskellige kulturer og stammer, som vandrede til og fra lokaliteter rundt om i Europa. En forklaring på disse opbrud kan være pestens ankomst til Europa, konkluderer forskerne, som støtter sig til tidligere arkæologisk fund, som har vist et stor antal forladte landsbyer – samtidig med opbygning af nye små samfund andre steder i Europa. Det er gennem analyser af bl.a. tandrester, at forskerne er kommet frem til de opsigtsvækkende resultater, som er blevet publiceret i tidsskriftet *Cell*.

I øvrigt har der i de seneste 30 år været fremført en lang række opsigtsvækkende teorier og påstande om pesten og dens årsager. Bl.a. har forskere peget på, at det ikke var inficerede lopper med *Yersinia pestis* og dermed byldepest, der var årsagen til middelalderens store udryddelse af europæere. I stedet var det lungepest, som smittede via luften. Og så er der også en tredje type pest – blodpest, som går direkte i blodet på ofrene, der døde i løbet af få timer. I dag kan pest helbredes med antibiotika og er ikke længere en katastrofe.

Men – pesten har også ifølge nogle historikere – været med til at sætte skub i den europæiske udvikling mod vores nuværende civilisation med demokrati og velfærd. Bl.a. mener nogle, at den italienske renaissance

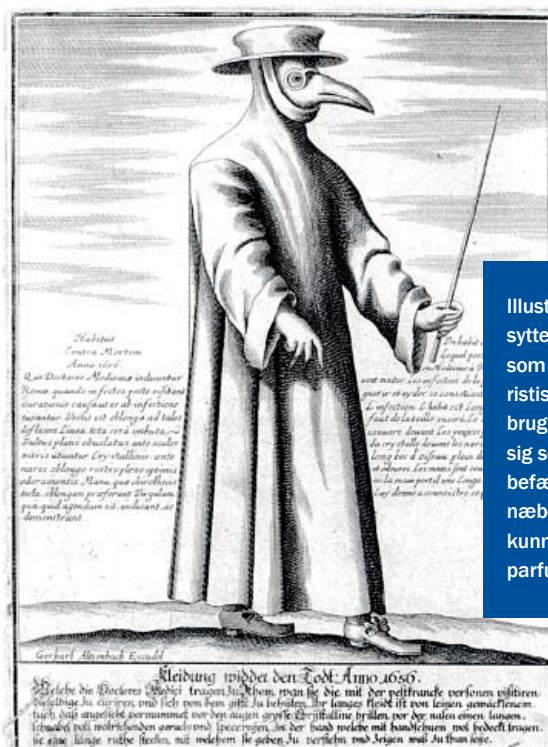


Illustration fra det syttende århundrede, som viser de karakteristiske klæder, læger brugte for at beskytte sig selv mod de pest-befængte. Den fugle-næb-formede maske kunne lægerne putte parfume i.

med bystater, fyrster, mæcener og penge til kunst og videnskab aldrig ville have fundet sted, hvis ikke pesten havde sænket befolkningstallet og dermed skaffet flere penge og materielle goder til de overlevende. De samme forandringer gjorde sig gældende i forhold til herremændenes dominans på daværende tidspunkt. Efter pesten stod mange fæstegårde tomme. Der manglede simpelthen folk til landbrugsarbejdet. Derfor måtte den landlige overklasse give de overlevende fæstebønder og frie bønder bedre forhold og betaling og mere demokratisk indflydelse på eget liv og eksistens.

Svend Thaning, Københavns Universitet. Kilde: *Cell*, Vol. 163, Iss. 3, p571

## Afsløret af bakterieskyen

Vi efterlader bakterier på alt, som vi rører ved. Men vi efterlader ikke kun bakterier ved fysisk kontakt. Forskere fra USA har nu påvist, at vi afgiver bakterier til luften omkring os, og at bakterierne måske kan spores tilbage til os. Vi har i så fald hver vores unikke mikrobielle “sky” omkring os.

I ét forsøg blev et antal forsøgspersoner placeret i et sterilt rum midt i en cirkel af petriskåle og med luftfiltre hængende i luften omkring sig. En tilsvarende opstilling blev lavet i et rum ved siden af, men her uden forsøgspersoner. Forskerne kunne konstatere, at der kun landede bakterier på både petriskåle og filtre i rummet med forsøgspersonen. Det beviser, at vi afgiver bakterier til luften.

I et andet forsøg undersøgte forskerne, om forsøgspersonerne kunne skelnes fra hinanden vha. bakterierne. Bakterierne viste sig at være meget ens fra person til person, men fordelingen af bakterier var forskellig. I seks ud

af otte tilfælde kunne forsøgspersonerne derfor skelnes fra hinanden.

Selvom forskerne ikke undersøgte det nærmere, estimerer de, at vi afgiver bakterier i en radius af omkring 90 cm. Det er i så fald rigeligt til, at vore bakterieskyer let overlapper hinanden, når vi handler, venter på toget eller mødes med kollegerne – og nogle af de bakterier, vi “samler” op på vores vej, kan således stamme fra både venner og tilfældige mennesker.

Forskerne spekulerer, at man måske vil kunne bruge det mikrobielle fingeraftryk til at afgøre, om en bestemt person har været til stede i et bestemt lokale – hvilket i sagens natur vil være interessant i kriminalsager.

Af biologistuderende Emil David Bjerre Jørgensen, Aarhus Universitet

Kilde: *PeerJ*, DOI 10.7717/peerj.1258

# Et hattrick til neutrinoforskningen

Endnu en gang er Nobelprisen i fysik blevet givet til forskning i neutrinoer – partiklen der findes overalt, men er uhyggelig svær at måle. Grunden til den store interesse er, at neutrinoforskningens resultater ikke kan forklares inden for partikelfysikkens standard-model.

## Forfatteren



Steen Hannestad er professor, Institut for Fysik og Astronomi; Aarhus Universitet. Han forsker bl.a. i neutrinfysik. steen@aiaas.au.dk

Da vinderne af Nobelprisen i fysik 2015 blev offentliggjort d. 7. oktober stod det klart, at prisen endnu en gang var blevet givet for forskning i de elementarpartikler, der kaldes neutrinoer. Det er 3. gang siden 1995, at prisen går til forskning inden for dette tilsyneladende ret obskure område. Men det er der selvfølgelig en grund til.

Neutrinoer er elementarpartikler ligesom de elektroner, der udgør en væsentlig del af alle atomer, men i modsætning til elektroner har de ingen elektrisk ladning og kan derfor ikke vekselvirke med andre partikler gennem elektromagnetismen. Stort set al information om naturen kommer til os gennem den elektromagnetiske vekselvirkning. Når vi læser en artikel som denne, kan det kun ske, fordi lys kastes tilbage fra papiret og rammer vores øjne. Lyset oversættes til elektriske impulser bagest i øjet og bringes videre til hjernen – igen kun muligt gennem den elektromagnetiske vekselvirkning. Det samme er tilfældet, når man laver eksperimenter i partikelfysik. Detektorerne virker ved hjælp af den elektromagnetiske vekselvirkning, og uden den bliver det stort set umuligt at foretage målinger.

## Neutrinoer overalt

Fordi neutrinoer ikke vekselvirker gennem elektromagnetismen, er de meget vanskelige at "se" i laboratorieeksperimenter på trods af, at vores univers er fyldt med dem. Allerede før 2. verdenskrig viste den tyske fysiker Hans Bethe, at Solen udsender gigantiske mængder af neutrinoer. De dannes som en del af de fusionsreaktioner, der producerer energi i Solens indre. Stort set alle disse neutrinoer passerer uhindret gennem de yderste dele af Solen, og omkring 10 milliarder rammer hver eneste kvadratcentimeter af Jordens overflade hvert eneste sekund. Alligevel bliver strømmen af neutrinoer aldrig bemærket, med mindre man kigger ekstremt godt efter. Og for os mennesker er der tale om en helt ufarlig bestråling, da

kun 1-2 neutrinoer vil blive opfanget i et menneskes krop i løbet af en normal levetid. Det betyder til gengæld også, at man møder nogle ganske ekstreme udfordringer, hvis man vil bygge eksperimenter, der kan måle tilstedeværelsen af neutrinoer.

Først i 1956 blev eksistensen af neutrinoer eftervist eksperimentelt af Clyde Cowan og Fred Reines. En opdagelse Fred Reines blev tildelt Nobelprisen i fysik for i 1995 (Clyde Cowan døde allerede i 1974). I starten af 1960'erne designede Raymond Davis et eksperiment i Homestake-minen i USA, der skulle opfange neutrinoer fra Solen. Grunden til, at eksperimentet måtte foretages dybt under Jorden, var, at på Jordens overflade ville det meget svage signal fra neutrinoerne blive overskygget af den kosmiske stråling, der hele tiden rammer Jordens overflade. Alle efterfølgende neutrino-eksperimenter har fulgt samme metode og er uden undtagelse bygget dybt under Jordens overflade.

## Neutrino-oscillationer

Til trods for udbredt skepsis i det videnskabelige miljø over for muligheden lykkedes det ham faktisk at måle eksistensen af neutrinoer fra Solen, og sammen med den teoretiske fysiker John Bahcall kunne han vise, at Solen tilsyneladende udsender langt færre neutrinoer end man skulle forvente. En mulig forklaring ville være, hvis de teoretiske modeller for, hvordan Solen producerer energi, på en eller anden måde var fejlbæftede. Men den forklaring blev mindre og mindre sandsynlig med årene, i takt med at forståelsen af Solens indre blev bedre. Samtidig blev Ray Davis resultater bekræftet af en række andre eksperimenter op gennem 1980'erne og 90'erne.

Til gengæld blev det klart, at forklaringen nok skulle søges et helt andet sted, nemlig i de fundamentale kvanteegenskaber ved neutrinoerne. Neutrinoer findes i tre forskellige typer: Elektron-neu-

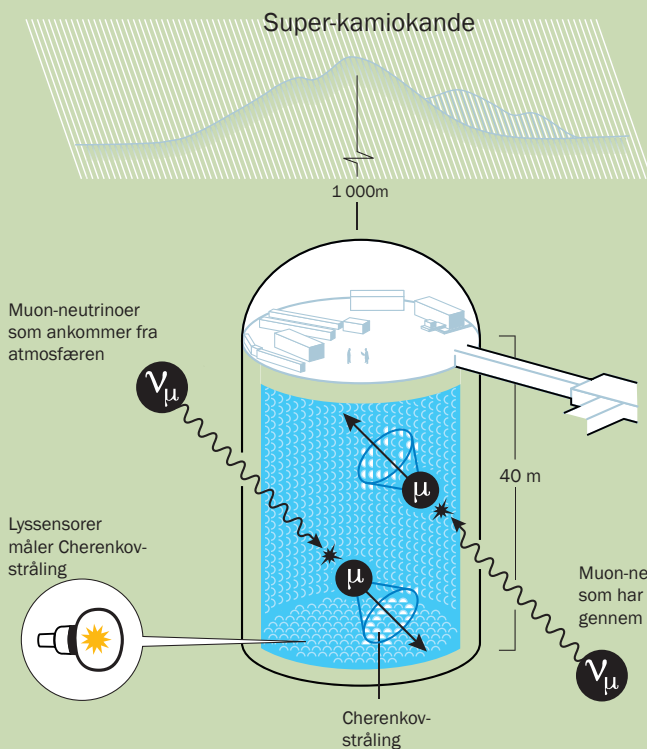
## Videre læsning

S. Hannestad: Den lille neutron. *Aktuel Naturvidenskab* nr. 4/2002.

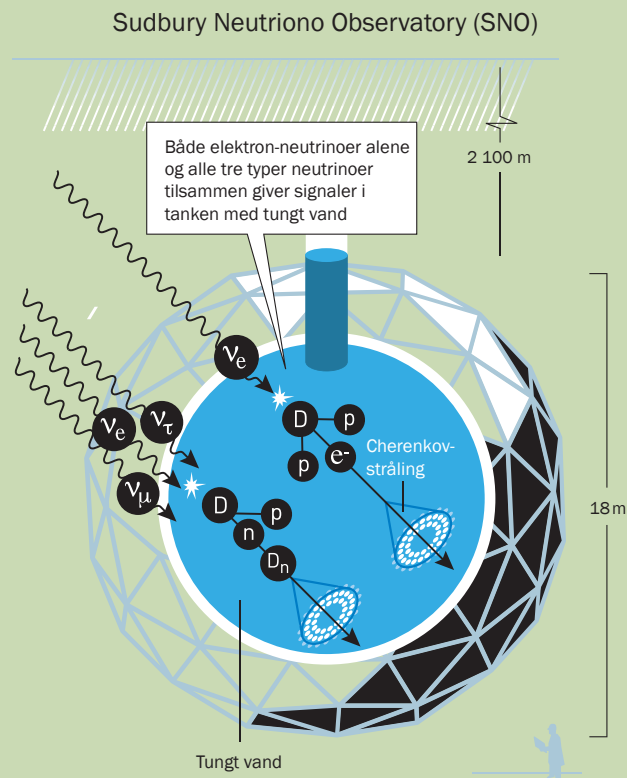
A.S. Riis: Nu skal neutrinoens masse bestemmes. *Aktuel naturvidenskab* nr. 3/2008.

[www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/)





Super-kamiokande måler kosmiske neutrinoer. Når en neutrino kolliderer med et vandmolekyle i tanken, dannes en hurtig elektrisk ladet partikel. Herved udsendes såkaldt Cherenkov-stråling, som måles af lyssensorer i eksperimentet. Formen og intensiteten af Cherenkov-strålingen afslører, hvilken type neutrino, der har forårsaget den, og hvor den kom fra. Det viste sig, at muon-neutrinoer, som ankom direkte fra atmosfæren var mere talrige end dem, der havde rejst tværs gennem Jorden. Det antydede, at de sidstnævnte havde rejst længere og derfor havde haft længere tid til at skifte "identitet" til en anden type neutrino undervejs.



I Sudbury Neutrino Observatory måles neutrinoer fra Solen, som kun producerer elektron-neutrinoer. reaktionerne mellem neutrinoer og det tunge vand i tanken gav mulighed for at måle både elektron-neutrinoer og alle tre neutrinoer i kombination. Man opdagede derved, at der var færre elektron-neutrinoer end forventet, mens antallet af de tre typer neutrinoer tilsammen var som forventet. Konklusionen var, at nogle af elektron-neutrinoerne havde skiftet identitet.

Illustrationer efter: Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences.

trinoer, myon-neutrinoer og tau-neutrinoer. Solen producerer udelukkende elektron-neutrinoer og stort set ingen myon- eller tau-neutrinoer. Det var derfor også mest nærliggende udelukkende at se efter elektron-neutrinoer i eksperimenterne.

Men faktisk havde den italienske fysiker Bruno Pontecorvo allerede i 1957 foreslået et nyt og eksotisk fænomen, de såkaldte neutrino-oscillationer. Hvis forskellige typer af neutrinoer har forskellig masse, kan det føre til et fænomen, hvor fx en elektron-neutrino i virkeligheden består af en sammensætning af tre forskellige masser, mens myon- og tau-neutrinoer består af andre kombinationer af de samme tre masser. Partikler med forskellig masse, men samme energi, bevæger sig med forskellig hastighed, og når en elektron-neutrino produceres i Solen, ændrer den langsomt natur, mens den bevæger sig, fordi sammensætningen af masser ændrer sig. Når den måles på Jorden, kan den være blevet til en myon- eller tau-neutrino.

### Ekstremt interessante resultater

I perioden 1998-2002 beviste to store eksperimenter, Super-Kamiokande i Japan og SNO (Sudbury

Neutrino Observatory) i Canada, at det netop er det, der sker med neutrinoerne. Dermed beviste eksperimenterne, at neutrinoer faktisk har en masse – noget, man hidtil havde været meget i tvivl om. Det er netop denne opdagelse, lederne af de to eksperimenter Takaaki Kajita fra Super-Kamiokande og Arthur B. McDonald fra SNO blev tildelt Nobelprisen for.

Man kan så til slut spørge, hvorfor disse eksotiske partikler skulle være endnu en Nobelpris værd. Grunden er, at partikelfysikkens såkaldte standardmodel faktisk forudsiger, at neutrinoer ikke har nogen masse. Standardmodellen er den kvanteteori, vores nuværende forståelse af partikelfysik er bygget på, og det er derfor ekstremt interessant, at der nu foreligger målinger, som ikke kan forklares inden for denne teori. Fysikerne har længe været klar over, at standardmodellen ikke kan være en komplet teori, men neutrinoernes masse er det første eksperimentelle bevis på, at der findes fysik, der ikke kan beskrives ved hjælp af standardmodellen (i modsætning til fx Higgs-partiklen, der netop er en del af standardmodellen).

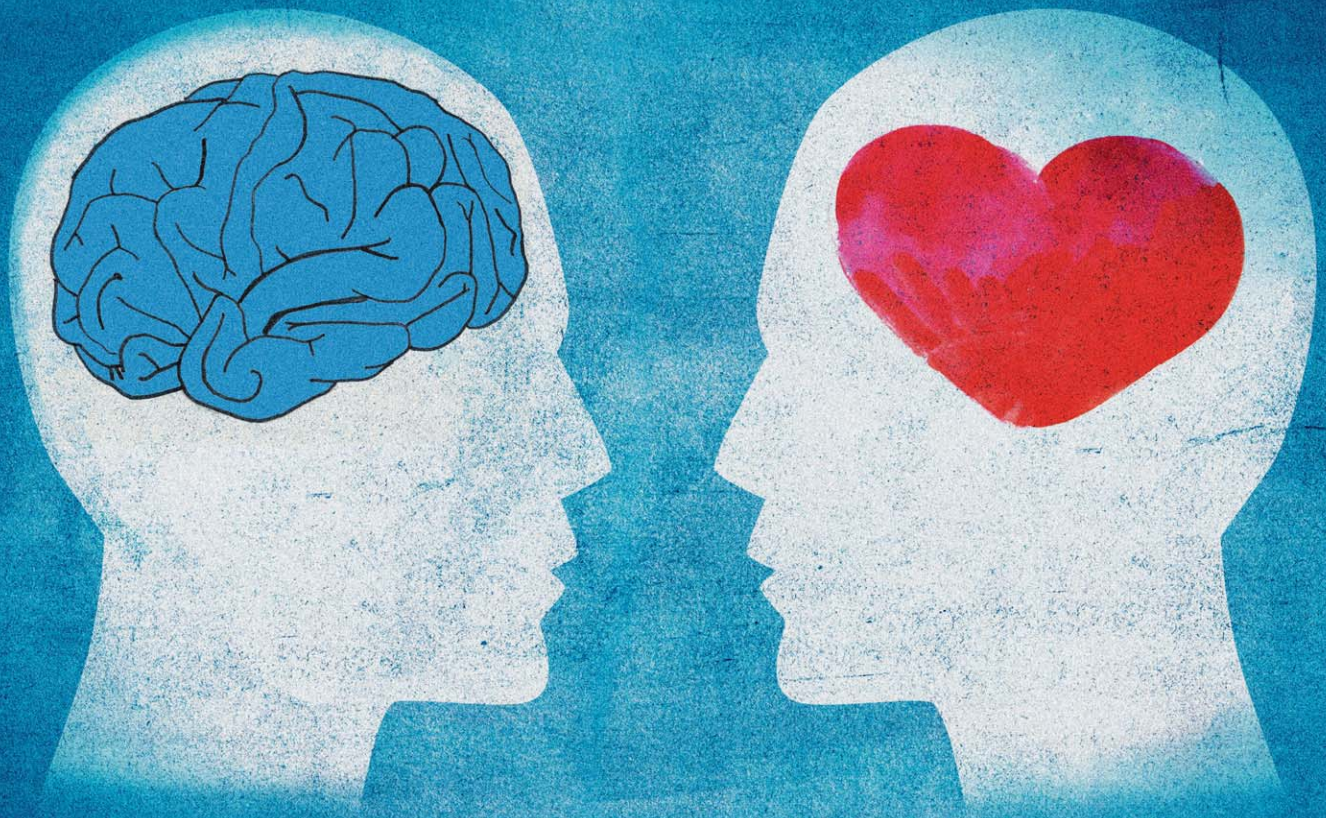
### Prismodtagerne



Takaaki Kajita. Japansk statsborger født 1959. Er tilknyttet Tokyos Universitet, Kashiwa, Japan.



Arthur B. McDonald. Canadisk statsborger født 1943. Er tilknyttet Queen's University, Kingston, Canada.



# HJERNE OG HJERTE

## INSPIRATIONS DAG FOR GYMNASIELÆRERE

**Underviser du i naturvidenskabelige fag eller matematik på de gymnasiale uddannelser? Så kom til gratis inspirationsdag på Københavns Universitet d. 29. januar 2016.**

Årets tema er "Hjerne og hjerte", og emnerne spænder vidt: Fra brugen af computermodellering for at opdage hjertesygdomme, unges brug af præstationsfremmende medicin, til hjernens påvirkning af fysisk aktivitet.

Førende forskere vil tale om den seneste udvikling på området. Desuden vil dagen byde på 10 workshops, hvor du kan finde inspiration til din egen undervisning. Temaerne er bl.a. stamceller, ikke lineær regression, hydrografi og idræt set fra en neurobiologisk vinkel.

Inspirationsdagen løber af stablen d. 29. januar 2016. Deltagelse er gratis, og tilmelding sker efter først til mølle-princippet.

Tilmeld dig og læs mere om dagens program på [inspirationsdag.ku.dk](http://inspirationsdag.ku.dk)





# Universets skabelse set fra Indlandsisen

“Deep Space” bliver det første teleskop på Grønland, der skal studere den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling og dermed bidrage til at forstå, hvordan Universet blev til.

Midt på den grønlandske Indlandsis skal der opføres et splinternyt teleskop, som vil placere Danmark i frontlinjen af forskningen indenfor moderne kosmologi. Teleskopet skal studere den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling, som populært sagt er eftergløden af Big Bang. Det er forskere fra University of California Santa Barbara i USA, som står for den primære konstruktion af teleskopet, mens forskere fra Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet bidrager med forskningsmæssig ekspertise, teoretisk arbejde og dataanalyse, samt modifikation af instrumentet til at kunne operere i et arktisk miljø. Den danske del af projektet er finansieret via en bevilling fra Villum Fonden.

Den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling er ældgammelt lys fra det tidligste univers, og stu-

dier af dette kan give os unikke informationer om Universets skabelse og udvikling. I de senere år har der været store gennembrud indenfor observationer af denne stråling, primært fra satellitteleskoperne WMAP og Planck fra henholdsvis amerikanske NASA og det europæiske rumagentur, ESA. I 2013 kunne Planck-eksperimentet vise det hidtil bedste billede af den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling over hele himmelfæren.

## Karakterisering af Universets stråling

Tidligere i år kom der banebrydende observationer af strålingens polarisation. Stråling kan karakteriseres ud fra flere egenskaber. En egenskab er energi og bølgelængde. Den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling er lys med bølgelængde i mikrometer, som ikke er synligt med det blotte øje. Som

Deep Space opføres ved den videnskabelige station på Summit i Grønland.

### Om forfatterne



Robert Feidenhans'l,  
professor  
robert@nbi.dk



Pavel Naselsky, professor  
naselsky@nbi.dk



Anne Mette Frejssel, ph.d.  
frejssel@nbi.dk

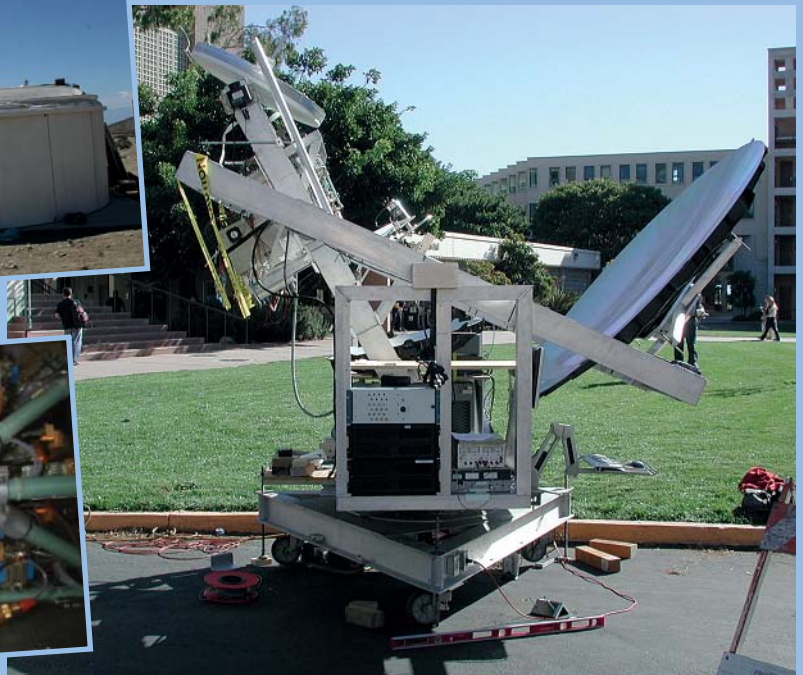
Alle ved  
Niels Bohr Institutet  
Københavns Universitet

Kuppel på White Mountain i Californien, hvor prototypen befinder sig nu.



Prototype af teleskopet i Santa Barbara. Teleskopet kommer til at veje ca. 2 tons, mens det primærspejl har en diameter på 2,5 meter. Det kommer til at operere inden for 3 frekvensbånd: 8GHz, 10GHz og 15GHz.

Lavfrekvens-modtagere for Deep Space. Strålingen opfanges i disse modtagere, inden data bliver læst ud.



## Inflation, polarisation og gravitationsbølger

Et af de mest fundamentale spørgsmål i moderne fysik og kosmologi er oprindelsen af såkaldt inflation i det tidlige Univers. Teorien om inflation siger, at universet gennemgik en fase med eksponentiel udvidelse indenfor et ufatteligt kort tidsrum ved sin skabelse. Den såkaldte B-type-polarisation, som Deep Space-teleskopet skal være med til at undersøge, repræsenterer ifølge teorien begyndelsen på den kraftige ekspansion af universet og dannelsen af stof ud fra vakuum. Hvis man kan påvise B-type-polarisation i den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling vil det således være en bekræftelse på inflationsteorien. Det vil som nævnt i artiklen også være et indirekte bevis på eksistensen af gravitationsbølger,

da B-type-polarisationen bør være 0 i fravær af gravitationsbølger og forskellig fra 0, hvis gravitationsbølger eksisterer.

Gravitationsbølger kan ansues som deformation af rummets form, der udbreder sig i Universet med lysets hastighed. Gravitationsbølger følger af Einsteins generelle relativitetsteori ifølge hvilken, rummet krummer omkring massive legemer – og Einstein beregnede, at denne deformation af rummet kan udbrede sig gennem det tomme rum. Einstein mente selv, at gravitationsbølgerne ville være så svage, at det ikke ville være muligt at observere dem direkte. Men indirekte kan de altså påvises gennem B-type-polarisation.

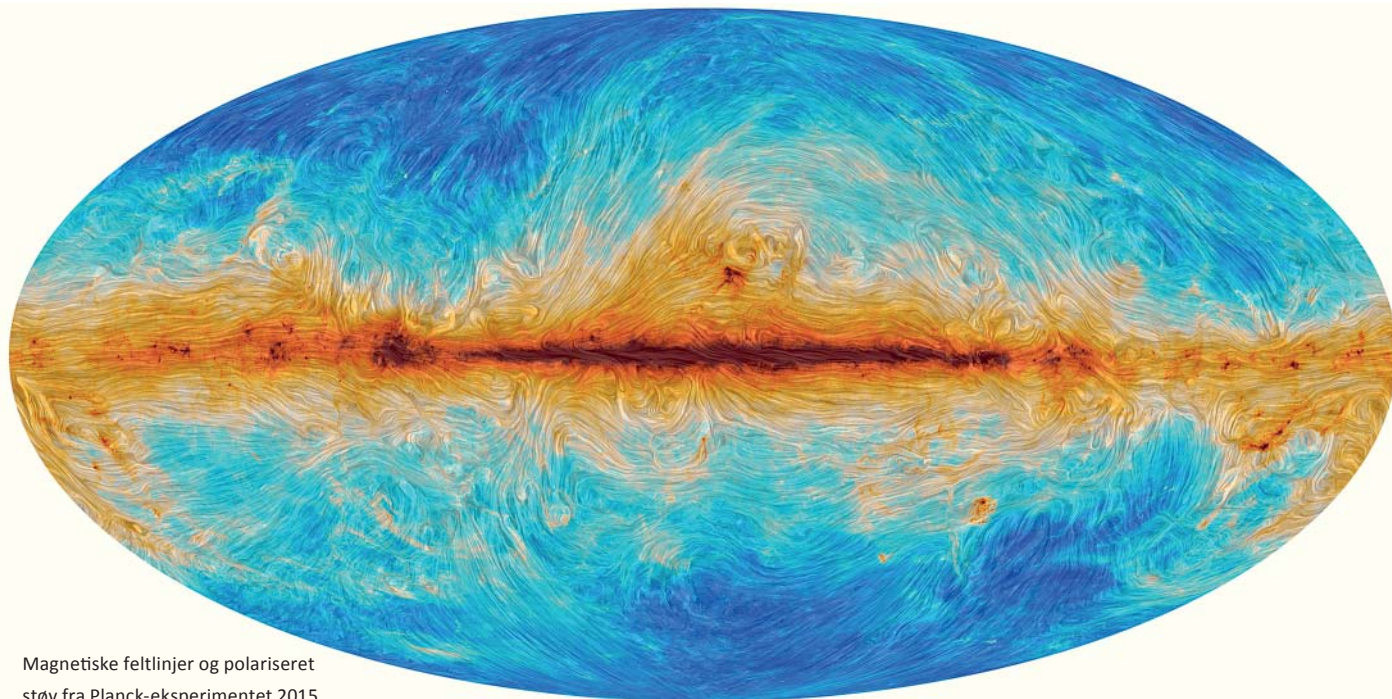
navnet antyder, er det samme type stråling, som findes i mikrobølgeovne. Optisk lys, det vil sige lys, vi kan se med øjet, har bølgelængder i nanometer, hvilket er mere energirigt end mikrobølger. En anden egenskab ved lys er dets polarisation. Det kender vi fra polariserede solbriller, hvor man tydeligt kan se, at lyset, som slipper igennem, ændrer sig, hvis man drejer solbrillerne. Polarisation af stråling giver dermed information om lysets orientering eller rotation. Forskere har forskellige modeller og teorier, som forudsiger egenskaber af den kosmiske baggrundsstråling. Ved at sammenligne forudsigelserne med observationer tester de vores forståelse af, hvordan universet hænger sammen.

### På jagt efter sensationen

Teleskopet på Grønland skal hjælpe med observationer, som vi hidtil har manglet for at teste nogle helt specifikke forudsigelser og hypoteser omkring

polarisationen af den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling. Der findes to typer polarisation, som kaldes E-type og B-type. Fysiske modeller for universets tilstand de første brøkdeler af et sekund efter Big Bang forudsiger, at vi kun burde se polarisation af E-typen i eftergløden. Hvis vi til gengæld observerer B-type-polarisation vil det være et kæmpe gennembrud for fysikken. Denne type kan nemlig ifølge mere avancerede modeller kun produceres i det tidlige univers og medfører også indirekte bevis for eksistensen af såkaldte gravitationsbølger. Gravitationsbølger er forudsagt af Einsteins generelle relativitetsteori, men endnu ikke observeret direkte.

I 2014 var der stor furore, da forskere ved det amerikanske eksperiment BICEP2 på Sydpolen påstod, at de havde observeret netop kosmisk B-type-polarisation. Nyhedsmedier verden over bragte sensatio-



Magnetiske feltlinjer og polariseret støv fra Planck-eksperimentet 2015.

Illustration: ESA

nen. Desværre viste det sig, at forskerne ikke havde taget ordentligt højde for forurenende lys fra støv i vores egen galakse. Da de tog støv korrekt med i beregningerne, kunne de ikke længere se nogen B-type-polarisation. Håbet lever dog endnu.

### Støvet skal fjernes

Jo flere frekvensbånd, et teleskop observerer i, jo bedre kan man rense observationerne for støv fra Mælkevejen. Kombinerer man de nye himmelkort over støv i Mælkevejen fra Planck-satellitten med et eksperiment som Deep Space, er der rigtig gode chancer for at kunne se kosmisk B-type-polarisation. Det danske bidrag til jagten efter de kosmiske gravitationsbølger har også en ekstra fordel i forhold til teleskoperne på Sydpolen. Den del af himlen, der kan observeres fra Grønland, er meget mindre forurenet af polariseret støv, end hvad man kan se fra Sydpolen.

Konstruktionen af teleskopet er allerede gået i gang, og det ankommer efter planen til sin destination på Summit i Grønland indenfor det næste års tid. Summit ligger lige i midten af Grønland, hvor der er meget tørt med lav luftfugtighed. Dette giver optimale betingelser for at observere kosmiske mikrobølger.

### Videnskabelige mål

Især resultaterne fra Planck-satellitten og BICEP2-eksperimentet har understreget behovet for mere detaljerede beskrivelser af mikrobølgestråling fra vores egen galakse, som forurener vores observationer af den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling. For at få et korrekt billede af den kosmiske stråling er man nødt til at rense observationerne for den

galaktiske forurening. Det er især galaktisk støv og frie elektroner i det galaktiske magnetfelt, som laver ravage. Teleskopet har to formål. For det første at lave endnu bedre karakterisering af støv og elektronstråling i galaksen end vi har nu – med langt mere avancerede modeller. Forudsat at dette lykkes, vil det andet mål være at afgøre, om der findes kosmisk B-type-polarisation af den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling og dermed indirekte bevis for gravitationsbølgers eksistens.

Der er også mulighed for at udvide de videnskabelige resultater fra teleskopet til den meteorologiske verden. Tilføjer man en modtager til eksperimentet kan det nemlig også benyttes til klima- og atmosfæriske observationer af blandt andet CO<sub>2</sub>. ■

### Videre læsning

Om Planck-satellitten:  
[www.cosmos.esa.int/web/planck/](http://www.cosmos.esa.int/web/planck/)

## Internationalt samarbejde

Professor Pavel Naselsky fra Discovery Centret på Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet står i spidsen for Deep Space projektet. Fra Santa Barbara Universitet er det professor Philip Lubin, som står for det amerikanske bidrag. Der er forskere fra Danmark, USA, Italien, Sverige, Norge og Frankrig involveret i projekt-teamet, og mange har erfaring fra deltagelse i Planck-eksperimentet. Der er således solid ekspertise med både teleskoper, dataanalyse og programmer i projektet. Projektet er også stadig åbent for forskere, der ønsker at deltage. Villum Fonden støtter det danske bidrag, mens NSF (National Science Foundation) støtter det Amerikanske bidrag til etablering og installering. De første observationer forventes i 2016.

# Kulstof i havet

## - en tynd kop te?

Enorme mængder kulstof findes opløst i verdenshavene, hvor det kan forblive i flere tusinde år. Formentlig fordi det findes i for lave koncentrationer til, at det kan betale sig for bakterierne at nedbryde det.

### Om forfatterne



Sachia Jo Traving, ph.d.-studerende  
Marinbiologisk Sektion,  
Københavns Universitet  
sjtraving@bio.ku.dk



Colin Stedmon, lektor  
Institut for Akvatiske  
Ressourcer, DTU Aqua  
cost@aqu.dtu.dk



Lasse Riemann, professor  
Marinbiologisk Sektion,  
Københavns Universitet  
Iriemann@bio.ku.dk



Uffe H. Thygesen, lektor,  
Sek. for Marine Levende  
Ressourcer, DTU Aqua  
uht@aqu.dtu.dk

**K**ulstof indgår som den vigtigste byggesten i alle levende organismer (organisk kulstof), og den globale kulstofcyklus er en konstant udveksling af kulstof mellem forskellige lagre af organisk og uorganisk kulstof. Havvand er et af de største, dynamiske globale kulstoflagre. Det indeholder kulstof både på uorganisk form, som  $\text{CO}_2$ , og på organisk form som levende og døde organismer samt på opløst form.

Det organiske kulstof stammer fra dyr, planter og mikroorganismer i havet og fra landjorden. Langt størstedelen er bundet som opløst organisk kulstof. En liter havvand indeholder 0,5-1 mg kulstof bundet i dødt, opløst, organisk stof, dvs. som små og mellemstore molekyler som sukkerstoffer, aminosyrer, humusstoffer osv. Det svarer til i alt omkring 700 milliarder tons kulstof i verdenshavene. Det er meget mere end alt det kulstof, der er bundet i levende organismer i havet (omkring 3 milliarder tons) og overgår selv mængden af kulstof i levende organismer på landjorden (ca. 600 milliarder tons). Faktisk svarer mængden af opløst organisk kulstof i havet til den mængde kulstof, vi har i atmosfæren som  $\text{CO}_2$ .

Havet er et af de mest dynamiske lagre af kulstof, og en bedre forståelse af, hvilke processer der kontrollerer kulstoffets udveksling mellem de forskellige lagre

i havet, er essentiel for forståelsen af det globale kulstofregnskab og for reguleringen af vores klima.

Opløst organisk kulstof i havet dækker over tusindvis af forskellige stoffer, lige fra små simple molekyler til store komplekse stoffer. Det meste organiske kulstof i havet stammer fra planktonalgernes primærproduktion. Ved hjælp af lysenergi og fotosyntese laver planktonalgerne organisk kulstof fra  $\text{CO}_2$ . Under fotosyntesen spildes nogle af sukkerstofferne ud i vandet som opløst organisk kulstof. Disse stoffer optages hurtigt af bakterier, og selvom planktonalgerne producerer store mængder sukkerstoffer hver dag, bliver de hurtigt spist og forbrændt af bakterierne, og kulstoffet udskilles igen som  $\text{CO}_2$ . Algerne er ikke de eneste organismer, der producerer opløst organisk kulstof. Alle organismer og deres livsprocesser taber store mængder opløst organisk kulstof til det omgivende havvand.

### Specialiserede bakterier

I en milliliter havvand er der typisk omkring 1 million bakterier. De omsætter det opløste organiske stof til nye celler og energi og cirkulerer en del af det organiske bundne kulstof tilbage til uorganisk form gennem respiration. Faktisk omsætter bakterier op til 50 % af algernes primærproduktion, svarende til ca. 25 milliarder tons kulstof om året. Bakterierne er selv føde for encellede flagellater, der igen ædes af små

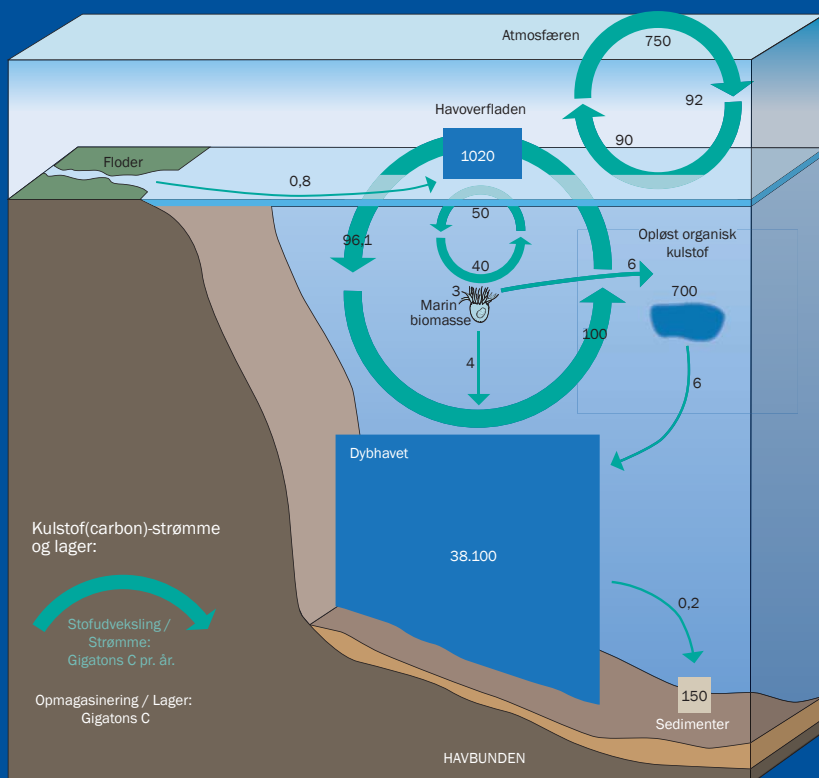


zooplanktonorganismer. Det organiske materiale i bakterien føres på den måde op gennem fødekæden.

Bakterierne optager de opløste organiske molekyler direkte over cellemembranen. Men det er kun små molekyler, der kan optages direkte og omsættes hurtigt. Større molekyler skal først nedbrydes til mindre molekyler ved hjælp af enzymer, før de kan optages. Nedbrydningen sker ved hjælp af enzymer, der produceres af bakterierne og som enten sidder på bakteriens overflade eller diffunderer ud i det omgivende vand, hvor store molekyler så nedbrydes til mindre, der kan optages af bakterien. Forskellige kemiske bindinger – og altså forskellige typer organiske molekyler – kræver imidlertid specialiserede enzymer. Alle bakterier kan ikke producere alle tænkelige enzymer, og bakterier er derfor typisk tilpasset til at leve på nogle få typer molekyler. Sammensætningen af bakterier i en vandprøve bestemmer derfor, hvilke stoffer der kan nedbrydes. Og sammensætningen af det opløste, organiske stof bestemmer omvendt, hvilke bakterier der blomstrer op på en given lokalitet. Ved olieforurening, vokser der således typisk bakterier op, der kan nedbryde olie.

### Et spørgsmål om koncentration

Selvom størstedelen af det opløste organiske kulstof, der dagligt produceres af levende organismer i havet, omsættes meget hurtigt, hober der sig



## Havets kulstofkredsløb

Havets rolle i den globale kulstofcyklus. Havet kan inddeles i flere kulstof-lagre (blå) og deres årlige udveksling internt og med andre lagre (som atmosfæren) er vist i de grønne pile. Estimaterne af stofudveksling er både for organisk og uorganisk kulstof.

Illustration efter IPCC 2001



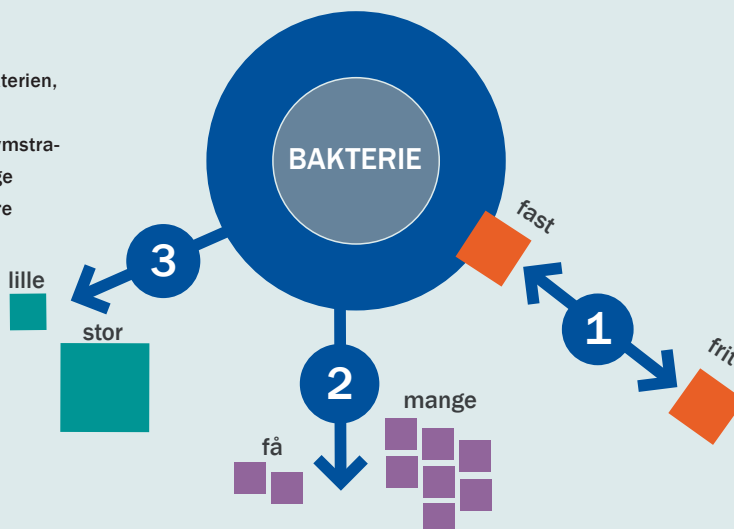
En koncepttegning over bakteriers enzymstrategier. Enzymerne (gule) kan være fastsiddende på bakterien (som på bakterien nederst) eller de kan frigives til vandet (bakterien øverst). Det, vi kan måle som "frie enzymer" i vandet, kan imidlertid også stamme fra andre kilder som aktive overfladeenzymer på cellerester (hvilket ses til venstre).

Illustration: Sachia Jo Traving

## Enzym strategier

Modellen er en samling af ligninger, der beskriver bakterien, enzymerne og miljøet (mht. substratmængde).

Der er tre parametre, som grundlæggende styrer enzymstrategien og som kan justeres i modellen for at undersøge deres respektive effekt på resultatet. De tre parametre fremgår af tabellen.



TABEL: En bakterie har tre måder at regulere og optimere brugen af ekstracellulære enzymer. Disse har både fordele og ulemper:

### Fastsiddende enzymer

- 1 Enzymdiffusivitet:** Bakterien kan have sit enzym siddende fast forankret til sin overflade eller sende det ud i vandet. Matematisk set kommer det til udtryk som enzymets diffusivitet. Modellen viser, at dette er betydende for hvor succesfuldt et enzym bruges.

Bakterien behøver færre enzymer, og grundet den tætte orientering høster bakterien også størstedelen af de molekyler, enzymet producerer.

Enzymet møder færre stoffer og producerer derved færre molekyler.

### Frit enzym

Enzymet møder det maksimale antal stoffer i dets levetid.

Enzymet forsvinder hurtigt væk fra bakterien, og de molekyler, det producerer, kommer ikke bakterien til gode.

- 2 Enzymproduktion:** Mængden af enzymer påvirker, hvor meget substrat bakterien høster, men mængden af enzymer begrænses af, at de energimæssigt er dyre at producere.

### Mange enzymer

Producerer meget substrat.

Koster mange ressourcer.

### Få enzymer

Producerer lidt substrat.

Koster få ressourcer.

- 3 Enzymstørrelse:** Enzymets størrelse har betydning for, hvor hurtigt det vil diffundere væk fra bakterien. Jo større enzymet er, jo langsommere vil det diffundere væk fra bakterien. Men også her er der naturlige grænser for den øvre størrelse, da bakterier kun kan transportere relative små molekyler over deres celledmembran.

### Store enzymer

Forsvinder kun langsomt væk fra cellen.

Energimæssigt dyre at producere. Svære at transportere over celledmembranen.

### Små enzymer

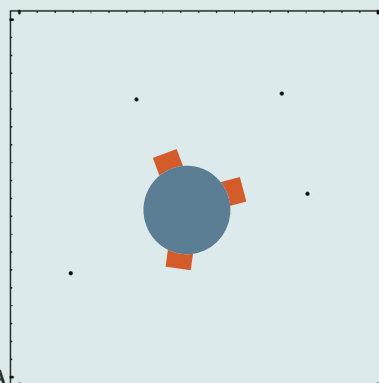
Energimæssigt billige at producere.

Forsvinder hurtigt væk fra cellen.

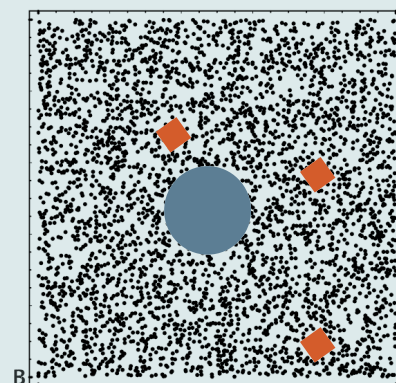
### Tærskelværdier

På figurerne ses den stofkoncentration, der skal til, for at den pågældende enzymstrategi kan betale sig. De viste koncentrationer er baseret på  $\alpha$ -amylase-enzymet nævnt i teksten. Man kan forestille sig, at høje stofkoncentrationer som vist i B ( $4 \mu\text{M}$ ) forekommer på partikler eller under algeopblomstringer, mens den lave stofkoncentration i A ( $4 \text{ nM}$ ) repræsenterer mere næringsfattigt vand, hvilket havet er størstedelen af tiden.

### Fastsiddende enzymer



### Frie enzymer





tilsyneladende svært nedbrydelige stoffer op. Og de kommer til at dominere den samlede mængde, der findes på ethvert tidspunkt. Ved hjælp af kulstof-14-datering har forskere aldersbestemt organisk kulstof i havvand og fundet en gennemsnitsalder på mellem 6,4 og 17,1 tusinde år. Nærmere undersøgelser har vist, at de meget gamle stoffer har nogle strukturer og bindinger, der anses for at være svært nedbrydelige. Man kan tænke sig, at stofferne ikke er særlig energirige, og det kan måske forklare, hvorfor nogle stoffer forbliver urørte. Vi kender dog til bakterier, der kan nedbryde sådanne energifattige og svært nedbrydelige stoffer. Råolie er et eksempel på, hvad vi opfatter som svært nedbrydeligt, og der findes masser af bakterier, som kan nedbryde olien. For de olie-spisende bakterier er det mængden, der er altafgørende. De tætte koncentrationer af stoffer i en dråbe råolie kan således kompensere for oliestoffernes lave energiudbytte.

Deri ligger også en mulig forklaring på, hvorfor der findes store mængder organisk stof i havet, som tilsyneladende ikke nedbrydes eller kun nedbrydes meget langsomt. Hvis det vanskeligt nedbrydelige stof består af mange forskellige stoffer, som hver især forekommer i ekstremt lave koncentrationer, bliver det mindre attraktivt for bakterierne. De svært nedbrydelige stoffer er således ikke nødvendigvis mere vanskelige at nedbryde end andre stoffer – de forekommer bare i for lav koncentration til, at der er bakterier, der har udviklet de nødvendige enzymer.

### Enzymer med en pris

Alle bakterier har enzymer siddende på deres overflade, som hjælper dem med at nedbryde stoffer, der ellers ville være for store for bakterien. Enzymerne på overfladen er første skridt i nedbrydningsprocessen af et stof. Herefter transporteres dele af molekylet ind i cellen, hvor det omdannes til biomasse og energi. Der findes mange forskellige overfladeenzymer, da et enzym udfører én bestemt funktion og oftest er så specialiseret, at det kun reagerer med en håndfuld af lignende stoffer. Derfor inddeler man ofte enzymer i en række funktionelle grupper, der indikerer deres formål. Enzymer kan betragtes som en investering for bakterien. Det koster ressourcer og energi at lave enzymer, men det betales tilbage i form af adgang til flere stoffer. Hvornår et enzym kan betale sig at lave hænger sammen med "prisen" på enzymet og hvor meget stof, der er til stede, som enzymet kan nedbryde. Man kan derfor forestille sig, at hvert enzym har en tærskelværdi. Tærskelværdien afhænger også af, om enzymet sidder fast på bakterien eller sendes ud i omgivelserne.

Man ved, at bakterier, der lever på partikler og i jord, ofte benytter sig af frie enzymer, altså hvor de frigiver deres enzymer til det omkringliggende miljø. Det kan betale sig, fordi der er meget store

næringskoncentrationer tæt på bakterien, og fordi enzymet er lang tid om at forsvinde. Generelt mener man dog, at denne strategi vil være meget dårlig for en bakterie i vandsøjlen. For selvom et enzym bedst udnyttes som frit enzym (fordi det møder mange flere stoffer og dermed kan operere optimalt ved meget lavere tærskelværdier), vil det hurtigt forsvinde væk fra bakterien i vandet. Og så får bakterien ikke noget ud af enzymets nok så effektive arbejde.

Denne antagelse er dog svær at be- eller afkræfte med målinger, da det (endnu) er umuligt at måle på en enkelt celle og afsløre, hvordan den arrangerer sine overfladeenzymer.

Målinger i havvand har vist, at frie enzymer til tider findes i betydelige koncentrationer. Men man ved ikke med sikkerhed, hvor de kommer fra. De kan være rester fra døde bakterier, fra bakterier der sidder på større partikler eller de kan være frigivet fra fritlevende bakterier. Man kan også forestille sig, at sådanne målinger er stærkt påvirket af de mest aktive og dominerende bakteriearter i et samfund.

### Hvad fortæller bakteriemodellen?

I stedet for at måle har vi derfor taget en teoretisk tilgang og bygget en matematisk model over en fritlevende bakterie i havvand for at få et svar på, hvilken strategi (frie eller fastsiddende enzymer) der bedst kan betale sig.

Vores modelberegninger viser, at fastsiddende enzymer er en klar fordel i langt de fleste tilfælde, hvis man ser det fra den enkelte bakteries synspunkt, og man tager højde for typiske næringsstoffkoncentrationer i havet. Der er dog undtagelser. Hvis der opstår forhold med høje næringsstoffkoncentrationer eller høje koncentrationer af bakterier, der samarbejder, så kan det godt betale sig at bruge frie enzymer.

Som et eksempel sammenlignede vi tærskelværdier for et enzym ( $\alpha$ -amylase, som er et enzym der kløver bindinger i polysakkarider) enten som fastsiddende eller fritflydende. Et frit  $\alpha$ -amylase havde en tærskelværdi på 3,3  $\mu\text{mol/liter}$ . Hvis det derimod sad fast på bakteriens overflade faldt tærskelværdien helt ned til 0,4  $\text{nmol/liter}$ . Det er en koncentration næsten 10.000 gange mindre. Mange stoffer findes i koncentrationer i disse størrelsesordner i havvand, hvilket viser, at de to strategier ikke udelukker hinanden. Man kan forestille sig, at bakteriesamfundet benytter sig af begge strategier alt afhængig af miljøet.

Vores resultat er spændende, fordi det antyder, at sammensillet mellem forskellige stoffer i vandet og bakterierne er langt mere komplekst end først antaget. ■

### Yderligere læsning

Hansell, D. A. (2013): Recalcitrant dissolved organic carbon fractions., *Ann. Rev. Mar. Sci.*, 5(July), 421-45, doi:10.1146/annurev-marine-120710-100757.

Kattner, G., M. Simon, and B. P. Koch (2011): Molecular characterization of dissolved organic matter and constraints for prokaryotic utilization., in *Microbial Carbon Pump in the Ocean*, edited by N. Jiao, F. Azam, and S. Sanders, pp. 60-61, Science/AAAS, Washington, DC.

Traving, S. J., U. H. Thygesen, L. Riemann, and C. a. Stedmon (2015): A model of extracellular enzymes in free-living microbes: which strategy pays off?, *Appl. Environ. Microbiol.*, (August), AEM.02070-15, doi:10.1128/AEM.02070-15.

Se også VKR Centre for Ocean Life, DTU Aqua [www.oceanlifecentre.dk](http://www.oceanlifecentre.dk)



# Fra notesbøger til public domain

Vigtige data om klima- og miljøforandringer i Grønland er nu tilgængelige, kort tid efter at de er indsamlet, og de indgår nu i højere grad i den internationale forskning i et Arktis under forandring.

## Om forfatteren



Nils Francke er freelancejournalist  
nf@nilsfrancke.dk

Naturen på Grønland er meget følsom over for miljøpåvirkninger, og ændringer, der kan give et første forvarsel om, hvad der er i vente for resten af verden. Derfor er det vigtigt at indsamle data om klimaforandringernes effekter fra blandt andet afsmeltning af iskappen, over kulstofbalancen og til bestanden af fugle og pattedyr.

Greenland Ecosystem Monitoring (GEM) er i dag et integreret monitoringsprogram, som overvåger økosystemer og klimaforandringers påvirkning af disse i Arktis. GEM bygger på de data, der bliver indsamlet i sommerhalvåret fra de to stationer Kob-

bejord ved Nuuk i Sydvestgrønland og Zackenberg i Nordøstgrønland. Via en opdateret database er det blevet endnu nemmere at dele data med forskere og myndigheder nationalt og internationalt. Det er et stort spring fremad for de danske forskere, som for tyve år siden begyndte at indsamle data i Nordøstgrønland.

»Det startede midt i 1990'erne, hvor en gruppe grønlandsforskere satte et overvågningsprogram i gang i Grønland,« siger Niels Martin Schmidt fra Institut for Bioscience ved Aarhus Universitet, og videnskabelig leder af forskningsstation Zackenberg.

### Svært tilgængelige data

»De første ti år var tankegangen primært at skaffe data og ikke så meget, hvordan vi skulle dele det med omverdenen. Det var vi ikke gode til, for digitaliseringen var stort set identisk med det, der stod i vores notesbøger. Kvaliteten af data var god nok, men det var svært tilgængeligt for andre.«

»Vi havde brug for en effektiv databaseløsning, som samtidig var tilpasset arbejdsgangene i felten. Vores ambition var, at vi kunne stå i felten og arbejde direkte i et valideringsmodul og derfra, efter validering, lægge det ind i databasen og gøre det direkte tilgængeligt for alle på nettet. Vi er nødt til at have en felttdel, der fungerer så ideelt som muligt, for det er logistisk set utroligt dyrt at få en mand op til Zackenberg i Nordøstgrønland, så det må ikke gå galt, når man først står der.«

Den optimale løsning er i dag en realitet: Forskerne på de to stationer kan nu arbejde i en fælles database. Databasen omfatter bl.a. grafisk visualisering af data over tid, så man kan se, hvilken vej udviklingen går. Der har været stor interesse for databasen, siden den gik i luften i april 2015.

Webløsningen og integrationen til GEM-databasen er leveret af "umbmanden.dk" i et tæt samarbejde med Institut for Bioscience.

### Digitalisering et stort fremskridt

»Selv om vi nu arbejder mere digitalt, når vi er i Zackenberg, er vi stort set *off the grid* deroppe og må arbejde med data uden om nettet. Der er et "hul" mellem feltarbejdet og databasen, men vi kan stadig lægge vores data ind i systemet, som efter valideringen bliver tilgængelige for alle på nettet. Det har været et stort skridt at arbejde med digitalisering på stedet.«

»Vores data er public domain og forsyner dermed også store internationale netværk, der forsker i Arktis – på den måde kan vi bedre forstå klimaeffekterne på stor skala. Alle kan tilgå data, og vores data bliver brugt i forskningen, internationale vurderinger og lignende.«

Et eksempel på dette er CAFF, en arbejdsgruppe for biodiversitet under Arktisk Råd, som følger udviklingen i økosystemer og dyreliv. De ejer ingen data selv, men høster data fra tilgængelige kilder, herunder fra Greenland Ecosystem Monitoring.

»Omvendt har vi nu bedre styr på, hvordan vores data bliver brugt. Den dataansvarlige får besked, når nogen bruger vores data, og vi kan bl.a. give besked til brugerne, når vi kan se, at der er mange, der forsker i det samme emne, så de er opmærksomme på det.«

### Rollemodel for monitoring i Arktis

Forskningsstation Zackenberg er blevet en rollemodel for monitoring i Arktis, og flere stationer andre steder i Arktis har ladet sig inspirere af Zackenberg, herunder en stor canadisk station, som snart åbner.

»Vi har på mange måder dannet skole, for en af vores videnskabelige styrker er, at vi har data, der er indsamlet over 20 år om det samme på de samme lokaliteter. Men på trods af dette kan vi stadig kun gisne om, hvad der sker i Arktis om 100 år. Vores arbejde er mere indsamling af data og billeder og dokumentation af de faktiske ændringer og i mindre grad forudsigelser.«

Næste ambition er at få etableret et trådløst netværk på Zackenberg, så mange data kan sendes lokalt i stedet for at blive indsamlet manuelt, som det sker nu.

»Vi *går* meget deroppe! Ud til indsamlingsstationerne og tilbage igen. Og afstandene er virkelig store i Grønland. Et lokalt netværk med mulighed for at indsamle og sende data i Zackenbergdalen vil være en stor hjælp,« siger Niels Martin Schmidt. ■

### Videre læsning:

www.g-e-m.dk  
Om CAFF: www.cff.is/

Greenland Ecosystem Monitoring omfatter fem programmer: ClimateBasis, GlacioBasis, GeoBasis, BioBasis og MarineBasis og er et samarbejde mellem Asiaq, Grønlands Naturinstitut, Aarhus Universitet, Københavns Universitet og GEUS.

Fotos: Forskere på feltarbejde ved Zackenberg Forskningsstation i Nordøstgrønland. Det er nu blevet lettere at dele de indsamlede data.

Fotos: Lars Holst Hansen



# Kviksølv i Østersøen

Mange fisk og muslinger fra Østersøen indeholder så meget kviksølv, at det overskrider miljøkravene fra EU. Ved hjælp af modeller arbejder Anne Lærke Sørensen på at få en bedre forståelse af, hvordan kviksølv cirkulerer i Østersøen, og hvad vi kan forvente af problemer i fremtiden.

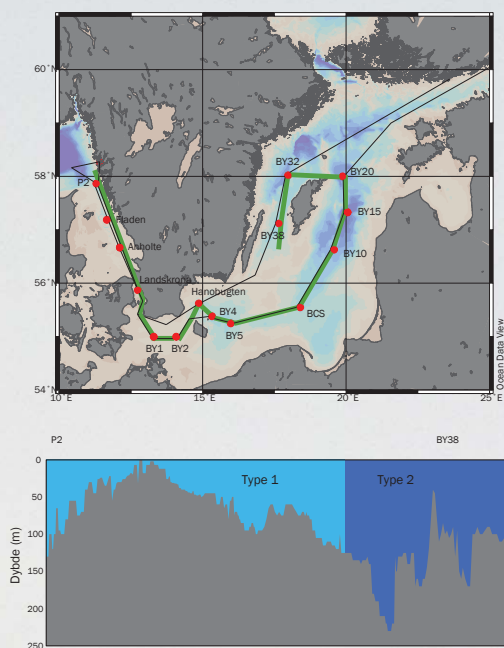
Der var engang, hvor fysiklæreren i skolen gerne lod børnene eksperimentere med en håndfuld kviksølv. Kviksølv er det eneste metal, der er flydende ved stuetemperatur, og det er en fascinerende oplevelse at få det til at splitte op i mange små metaldråber, der kan trille rundt for til sidst igen at samle sig i en stor klump – ligesom den flydende dræberrobot i filmen Terminator II.

Men de tider, hvor man leger med kviksølv i skolen, er forbi. Kviksølv er nemlig yderst giftigt, og det er derfor i dag bandlyst fra fysiklokalet. I alle de sammenhænge, hvor kviksølv kan erstattes med andre grundstoffer, forsøger man i dag at udfase brugen af det.

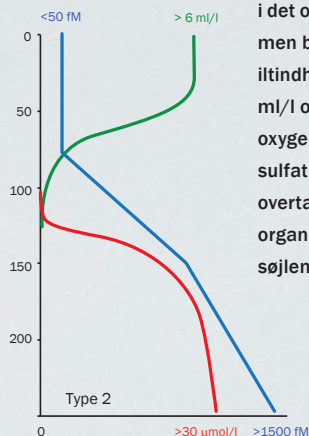
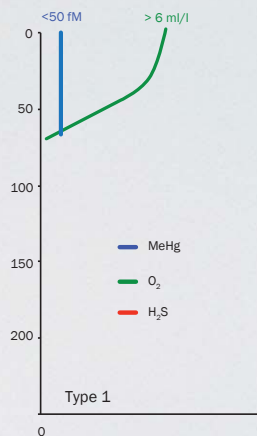
På trods af stor international opmærksomhed om kviksølvforurening udledes der stadig store mængder kviksølv til miljøet den dag i dag. På verdensplan er guldminedrift den største kilde til menne-

skeskabt forurening med kviksølv. Den næststørste er kulfyrede kraftværker, hvorfra der hvert år udledes flere tusind tons kviksølv til atmosfæren (hvor især kinesiske kraftværker er syndere). Kviksølv i atmosfæren kan transporteres med vinden til alle egne af verden.

Kviksølv kan kemisk omdannes i atmosfæren til en form, der er meget vandopløselig. Når det sker, fjernes kviksølvet med regnen. En stor del af dette kviksølv ender direkte i havet, men også den del, der regner ned på landjorden, kan med tiden transporteres med floder til havet. Og herfra kan det så ende i os mennesker via de fisk, vi spiser. Kviksølv har nemlig den kedelige egenskab, at det er meget svært at udskille igen, når først det er optaget i levende organismer. Derfor ophobes det igen i fødekæden, så koncentrationen bliver størst i toprovdyr som tunfisk eller isbjørne.



Figuren viser de stationer, som Anne og kollegaer fra Umeå universitet besøgte på deres togt i 2014. Den grønne linje indikerer den dybdeprofil, som vises nedenunder kortet. Her er indikeret to typer af områder: Type 1 er områder af Østersøen, hvor der er oxygen i hele vandkolonnen, mens type 2 er områder, hvor lille vandcirkulation og stort forbrug af oxygen under nedbrydning af synkende organisk materiale har betydet, at oxygen er blevet brugt næsten eller helt op (< 2 ml/l). Den generelle forskel på koncentrationerne af MeHg<sup>+</sup> i de to typer af profiler, som Anne og kollegaer har observeret i Østersøen er vist på de to grafer. Det ses, at MeHg<sup>+</sup>-koncentrationerne er lave



i det oxygenholdige vand, men begynder at stige, når iltindholdet falder under 2 ml/l og bliver rigtig høje, når oxygen helt forsvinder og sulfatreducerende bakterier overtager nedbrydningen af organisk materiale i vand-søjlen.

### Også et dansk problem

Selvom vi i Danmark ikke har oplevet dramatiske forureningskatastrofer med kviksølv, som man fx har i Japan, er kviksølvforurening desværre også et aktuelt emne i hjemlige farvande. I 2010 viste en rapport fra det daværende Danmarks Miljøundersøgelser, at der i mange danske søer og kystområder var en koncentration af kviksølv, der overskred EU's miljøkrav. Og Fødevarestyrelsen advarer generelt gravide mod at spise meget laks fanget i Østersøen pga. risikoen for kviksølvforgiftning.

Hvordan kviksølv opfører sig i vore farvande, og hvilke problemer vi kan komme til at opleve med kviksølv i fremtiden, hvis forskellige fysiske forhold ændrer sig, er der derfor al mulig grund til at interesse sig for. Og det gør Anne Lærke Sørensen. Anne har en ph.d.-grad i atmosfærisk miljökemi fra Aarhus Universitet, og hun er nu efter 3 år som

postdoc ved Harvard-universitetet i USA kommet til Stockholms Universitet som postdoc.

Her er hun med en bevilling fra Det Frie Forskningsråd |Natur og Univers i gang med at udvikle modeller, der skal simulere kviksølvets kredsløb i Østersøen, og hvordan det bioakkumulerer i den marine fødekæde.

### Kviksølv i Østersøen

Østersøen er et lavvandet hav, som mange lande grænser op til. Derfor er dette havområde kraftigt påvirket af mennesket, og i dag overvåges Østersøen i et internationalt samarbejde styret af den mellemstatslige kommission HELCOM.

»Undersøgelser viser, at niveauerne af kviksølv i Østersøen i øjeblikket er under grænseværdierne for, hvad der er forsvarligt til menneskeføde (i EU er

disse grænseværdier sat til 0,3-0,5 mg/kg våd vægt i fisk). Men undersøgelserne viser også, at i over 75 % af prøverne fra fisk og muslinger er kviksølv-niveauerne over EU's *miljøkrav*,« siger Anne. Miljøkravene er defineret som det niveau af kviksølv, der højst må være, hvis man skal undgå at kviksølv ophobes gennem fødekæden til et niveau, hvor det udgør en fare for bestandene af rovdyr i toppen af fødekæden.

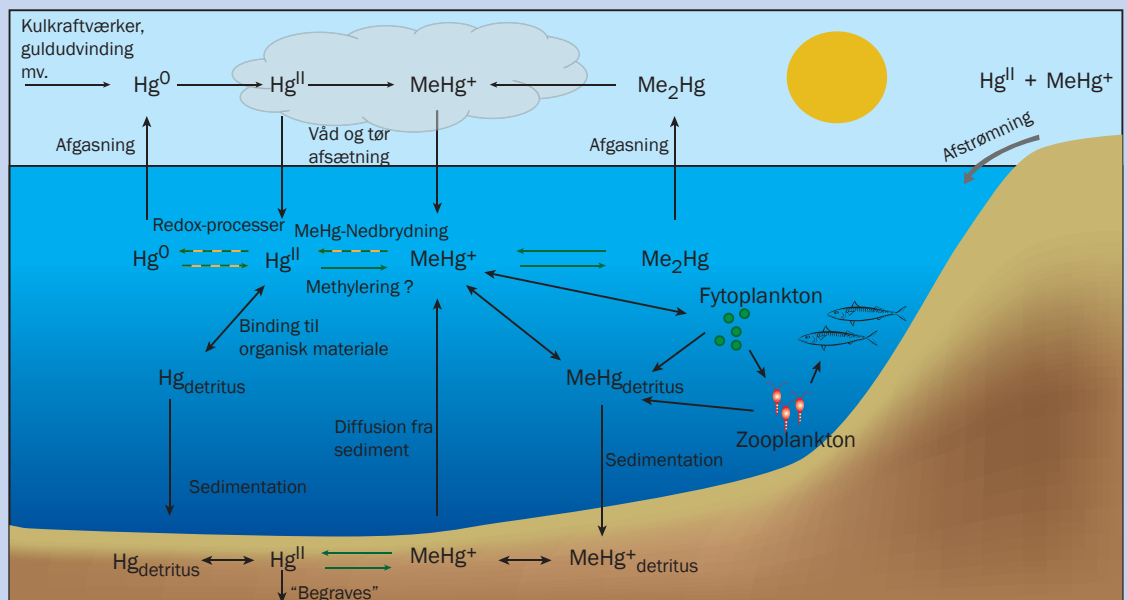
Trods den internationale indsats med måleprogrammer i Østersøen, er der ikke udviklet modeller, som kan hjælpe med fortolkningen af data og

dermed hjælpe med til at forstå, hvordan klimaforandringer og ændringer i tilførslen af næringsstoffer til Østersøen kan påvirke koncentrationerne af kviksølv i fødekæden. »Og vi kan derfor heller ikke vurdere, om problemerne med kviksølv vil blive større eller mindre i fremtiden,« siger Anne, som med sin forskning gerne vil rette op på den mangel.

### Forskel på kviksølv

Kviksølv er ikke bare kviksølv, men findes i en række forskellige former. Det kviksølv, der udledes fra menneskeskabte processer, er uorganisk kviksølv, som enten er en gas eller bundet til andre uorgani-

## Kviksølvets kredsløb



Kviksølv udledes til atmosfæren som en gas ( $Hg^0$ ) fra naturlige processer, men også fra fx kulkraftværker og gulddudvinding. I dampform bliver  $Hg^0$  transporteret til alle egne af verden. I atmosfæren vil  $Hg^0$  på et tidspunkt omdannes til divalent kviksølv ( $Hg^{II}$ ), der er vandopløseligt, og som herefter afsættes til land og hav.

En del af det  $Hg^{II}$ , der afsættes på land, vil langsomt transporteres mod havet ved at sive gennem eller ovenpå jorden ud i vandløb og floder. Under transporten igennem jorden kan bakterier omdanne det uorganiske  $Hg^{II}$  til methylkviksølv (egentlig methylkviksølv(1+),  $MeHg^+$  - hvor Me angiver en methylgruppe:  $-CH_3$ ). Lave koncentrationer af  $MeHg^+$  er også fundet i atmosfæren og menes at stamme fra omdannelse af enten  $Hg^{II}$  eller dimethylkviksølv ( $Me_2Hg$ ), der afgasser fra havet.  $Hg^{II}$ , der ender i havet, indgår i en cyklus af oxidation og reduktion imellem  $Hg^{II}$  og  $Hg^0$ . Denne er drevet af både fotolyseprocesser (gul pil) og processer forårsaget af mikroorganismer (grøn pil).  $Hg^{II}$  bindes også til organisk materiale i havet og synker mod havbunden, hvor det, når det organiske materiale

nedbrydes, kan frigives igen. I havbunden er der særlige gunstige (anaerobe) forhold, der gør, at mikroorganismer under nedbrydningen af det organiske materiale også omdanner  $Hg^{II}$  til  $MeHg^+$ . Denne produktion af  $MeHg^+$  kan føre til, at  $MeHg^+$  frigives tilbage til vandet via diffusion. Methylkviksølv tilføres desuden til vandkolonnen gennem atmosfærisk afsætning og afstrømning. Under de rigtige forhold kan mikroorganismer i vandkolonnen også omdanne  $Hg^{II}$  til  $MeHg^+$ , men Annes eksperimenter tyder på, at hvis dette sker i Østersøen, er det kun i de iltfattige områder af vandsøjlen.

Methylkviksølv fjernes fra vandsøjlen, enten ved at det bundfældes bundet til detritus (dvs. dødt organisk materiale) eller ved, at det bliver nedbrudt via fotolyse eller mikroorganismer til frit  $Hg^{II}$  eller det gasformige dimethylkviksølv ( $Me_2Hg$ ), som kan afgasse til atmosfæren. Methylkviksølv optages i fytoplankton, der enten spises af zooplankton eller dør og bliver til detritus. Fra vand til fytoplankton kan koncentrationen af  $MeHg^+$  stige 10.000 gange. Herefter stiger koncentrationen ca. med en faktor 10, hver gang man bevæger sig et skridt op i fødekæden.

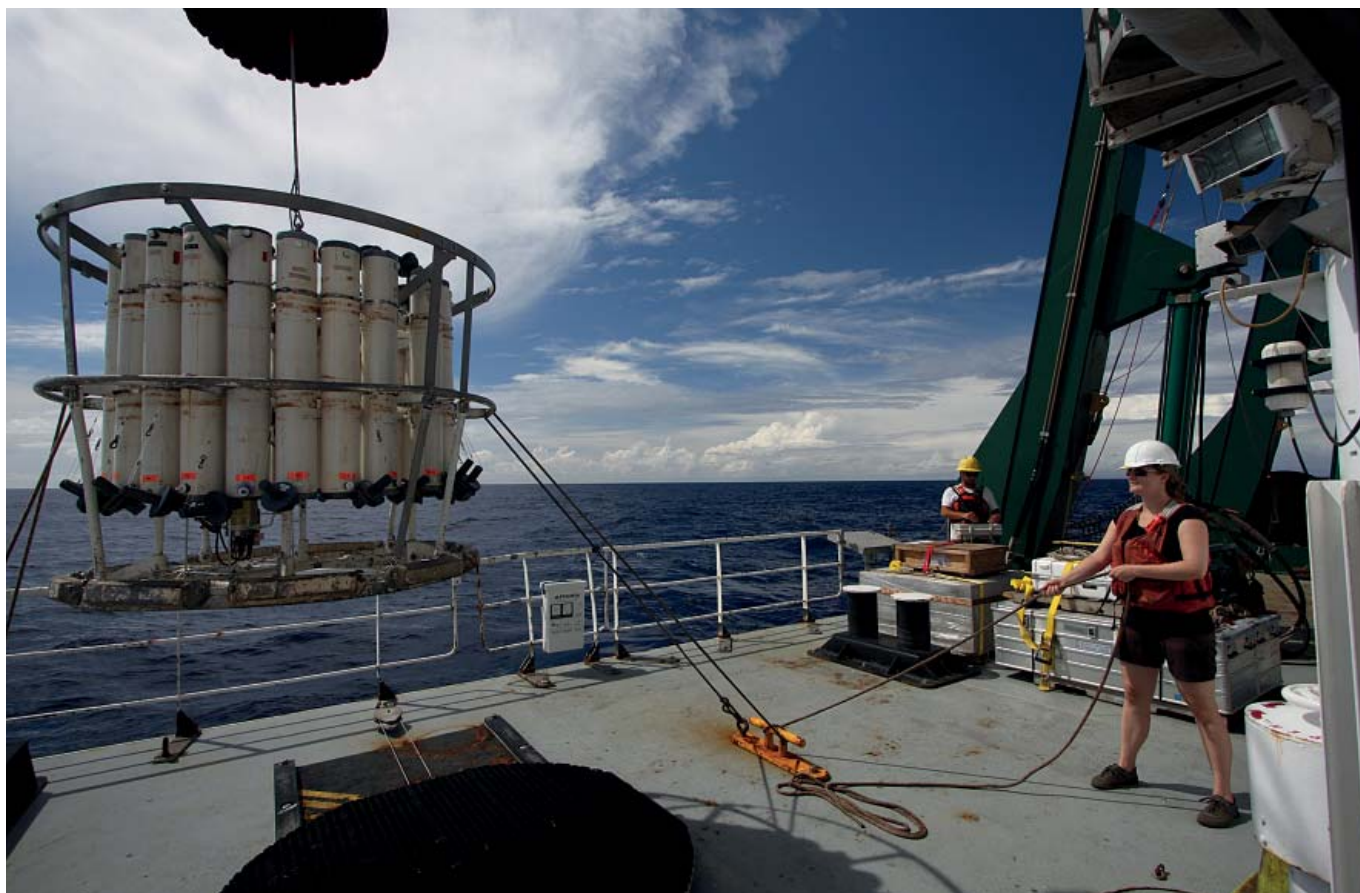


Foto: Brian DiMento

ske forbindelser i naturen. Det kviksølv, som findes i fisk og i os mennesker, er derimod stort set alt sammen bundet til organisk stof og betegnes organisk kvikstof (som oftest er såkaldt methylkviksølv). Bakterier står for transformationen imellem disse to former for kviksølv, hvilket fx sker steder i havet eller vandmættet jord/sediment. Hvor hurtigt denne omdannelse sker, er med til at bestemme, hvor meget kviksølv der optages i fødekæden, idet det kun er methylkviksølv, der opkoncentreres gennem fødekæden.

»Hidtil har overvågningen af kviksølv i Østersøen været fokuseret på den totale mængde kviksølv. Men hvis vi ikke forstår, hvor meget methylkviksølv, der er i vand og sediment, og hvor det kommer fra, er det svært at forstå de koncentrationer af methylkviksølv, vi finder i fisk. Og det vil være helt umuligt at forudsige, hvad der vil ske, når klimaet eller vores tilførsel af næringsstoffer til Østersøen ændrer sig,« forklarer Anne.

### Fra togt til model

Som en del af projektet har Anne i tæt samarbejde med Umeå Universitet i Sverige været på tre togt i Østersøen, og et fjerde er planlagt næste sommer. »På togterne har vi målt koncentrationerne og produktionen af methylkviksølv i vand og plankton,« siger Anne. »De foreløbige resultater viser, at selvom store dele af Østersøen ser ud til at have lave

koncentrationer af methylkviksølv, er der nogle områder, hvor koncentrationerne er op til 50 gange højere end de normale værdier. Det er i de iltfattige områder, som findes i de dybe områder af Østersøen med kun lidt cirkulation af vand«. Lignende iltfattige områder findes dog også gennem sommermånederne i kystnære områder, som vi kender det fra Danmarks fjorde, og Anne håber at kunne studere disse områder nærmere i fremtiden.

Data fra togterne skal Anne bruge i arbejdet med at udbygge to eksisterende modeller for Østersøen, så de kan simulere kviksølvs kredsløb. Den model, hun er nået længst med at udbygge, er en økosystem-model kaldet Baltsem. Den blev oprindeligt skabt til at simulere, hvordan næringsstofferne i Østersøen opfører sig. Modellen deler Østersøen op i tretten mindre bassiner og en række forskellige dybder. »En sådan model fungerer lidt ligesom de meteorologiske modeller, som bliver brugt til at forudsige vejret med. I stedet for at simulere faktorer som vindhastighed og regn, simulerer Baltsem, hvordan vandet cirkulerer i Østersøen, hvor mange næringsstoffer, der er, hvor der vil komme algeopblomstringer osv.,« fortæller Anne.

### Algernes betydning

Anne har nu indbygget viden om, hvordan kviksølv spiller sammen med fx algeopblomstringer eller skiftende iltforhold i modellen. »En algeopblom-

Anne Lærke Sørensen  
fotograferet i forbindelse  
med et tidligere togt i  
Stillehavet.

## Kviksølv – en nervegift

Den skøre hattemager fra Alice i eventyrland er en fantasifigur bygget på en tragisk virkelighed. I Viktoriatidens England brugte hattemagere kviksølv til behandling af skind og filt, fordi det beskyttede hattene mod mug. Men konsekvensen var, at hattemagerne selv blev forgiftede med kviksølv, hvor de typiske symptomer var personlighedsforandringer (de blev "gale"), hukommelsestab og rysten. Kviksølv blev i disse tilfælde indtaget som uorganisk kviksølv, som fordampes ved almindelig stuetemperatur og dermed kan indåndes.

Man har længe vidst, at kviksølv er giftigt for mennesker, der udsættes for det i større omfang – som fx guldminearbejdere, som bruger kviksølv til at ekstrahere guld. Det er dog sjældent, at nogen i den vestlige verden i dag udsættes for uorganisk kviksølv i et omfang, som kan påvirke nervesystemet. Langt det største problem med kviksølvforgiftning skyldes derimod methylkviksølv, som optages gennem kosten. Problemet med methylkviksølv er, at det ophobes i fødekæden, og at koncentrationerne i fisk er langt større end de indtag af uorganisk kviksølv, vi får igennem luften. Kviksølv er specielt skadeligt i den periode, hvor nervesystemet udvikles, dvs. i fosterstadiet.

Her kan det gøre uoprettelig skade. Kviksølv transporteres fra moderen, gennem moderkagen til fosteret via blodbanen. Det værste eksempel på forurening med methylkviksølv er fra en lille fiskerby i Minamata-bugten i Japan. Tæt ved byen lå en kemikaliefabrik, som brugte kviksølv som katalysator i forbindelse med produktion af kunstgødning. I processen blev en del af kviksølvet omdannet til methylkviksølv, og over en lang årrække udledte fabrikken store mængder kviksølv til en flod, der mandede ud i Minamata-bugten. Tusinder af mennesker døde, og mange børn blev født med alvorlige handicaps.

Der er heldigvis ikke mange eksempler med så alvorlige tilfælde som Minamata-sygen. Men selv små mængder methylkviksølv i organismen kan gøre skade med reduceret intelligens og forsinket motorisk udvikling. Det er derfor vigtigt at være specielt påpasselig med, hvor meget fisk, man spiser, hvis man prøver at blive gravid eller allerede er gravid.

I 2013 blev der underskrevet en international traktat, *Minamata-konventionen*, til beskyttelse af mennesker og miljø fra effekterne af kviksølv.

string kan som eksempel påvirke kviksølvs kredsløb på flere måder. Encellede alger optager methylkviksølv og er dermed det første led i fødekæden. Når de encellede alger spises af zooplankton, opkoncentreres methylkviksølvet, og sådan fortsætter det op igennem fødekæden, indtil vi indtager kviksølvet ved middagsbordet,« Siger hun. Mængden af alger har derfor stor betydning for, hvor meget methylkviksølv, der ender i fødekæden. Men vi ved faktisk endnu ikke, om flere alger gør koncentrationen højere eller lavere i toppen af fødekæden.

Algerne kan også påvirke cirkulationen af kviksølv, efter de er døde. Det er nemlig ikke alle alger, som spises af dyr – mange af algerne dør blot og synker mod havbunden. Det kviksølv, der er i de døde alger, vil synke ned sammen med dem, og dermed vil der blive fjernet kviksølv fra den øvre del af vandsøjlen. Dette kviksølv kan eventuelt frigives i dybere vandlag, hvor algerne nedbrydes af bakterier, eller det kan ende i sedimentet, hvis algerne ikke når at blive nedbrudt. »Disse forskellige effekter, som en algeopblomstring kan have, er grunden til at modeller er så vigtige,« siger Anne. »Modeller prøver at se på den samlede effekt af de forskellige processer, der er i et økosystem, i stedet for at fokusere på bare en af dem.«

### At skabe en troværdig model

For at Anne kan tilføje kviksølvs kredsløb til Baltsem-modellen, skal hun vide, hvad der styrer de forskellige reaktioner og transformationer, som kviksølv gennemgår. Det vil sige, at hun både skal forstå kviksølvs kemi og de biologiske processer, det indgår i. »Her trækker jeg på den specifikke viden om kviksølv i Østersøen, som jeg har fået under mit feltarbejde. Fx har vi lavet forsøg, hvor vi undersøgte, hvor hurtigt methylkviksølv i vandprøverne blev nedbrudt til uorganisk kviksølv – både i sollys og i mørke. Men faktisk har der ikke været arbejdet meget med kviksølv i Østersøen, så derfor må jeg også inkludere viden, som stammer fra studier i andre kyst- og havområder og fra eksperimenter udført i laboratorier,« fortæller Anne.



**DET FRIE FORSKNINGSRÅD**  
DANISH COUNCIL FOR  
INDEPENDENT RESEARCH

Artiklen bringes i samarbejde med Det Frie Forskningsråd. Annes projekt om kviksølv i Østersøen er finansieret af en bevilling fra Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers. Bevillingen er et led i et individuelt postdoc-stipendium, som er målrettet yngre forskere i begyndelsen af deres karriere. I 2013 modtog hun i forlængelse af sit projekt en såkaldt Sapere Aude-bevilling, som sigter mod at give de mest talentfulde forskere i Danmark de bedste betingelser for at gennemføre forskning på højt, internationalt niveau.

Det Frie Forskningsråd dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Det Frie Forskningsråd består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence.



Anne har nu tilføjet den tilgængelige viden om kviksølvprocesser til modellen, der nu som et sidste skridt skal evalueres, før hun kan begynde at bruge den til at undersøge den samlede effekt af de forskellige processer. »Det vil sige, at jeg skal tjekke modellen op mod de målinger, man har fra Østersøen, for at være sikker på, at modelresultaterne giver et troværdigt billede af virkeligheden«, siger Anne. »Her bliver mit feltarbejde igen vigtigt. For selvom der findes en del observationer af den totale mængde kviksølv i Østersøen, har der stort set ikke tidligere været foretaget målinger af koncentrationen af methylkviksølv i vand, alger eller zooplankton. Så de målinger, jeg har været med til at lave, er vigtige i arbejdet med at vise, at modellen er en god repræsentation af virkeligheden.«

Når Anne har færdiggjort evalueringen af Baltsem-modellen, skal den suppleres med en model, der fortsætter, hvor Baltsem-modellen stopper »Baltsem-modellen simulerer, hvordan kviksølv optages i encellede alger og zooplankton – altså i bunden af fødekæden. Men jeg er også interesseret i at forstå den videre akkumulering af methylkviksølv i den marine fødekæde. Undersøgelser har vist, at koncentrationerne af kviksølv i fisk har udviklet sig forskelligt i forskellige områder af Østersøen. Jeg håber, at jeg ved at kombinere viden om forskelle i både cirkulationen og fødekæden kan komme til at forstå, hvad der er skyld i dette.«

### Utilsigtede bivirkninger?

En af de ting, Anne er specielt interesseret i at finde ud gennem sit modelarbejde er, hvad der sker med kviksølvkoncentrationerne i Østersøen, hvis der udledes færre næringsalte. Den gængse teori er, at udledning af næringsstoffer gennem en række forskellige påvirkninger af kviksølv kredsløb samlet set fører til, at mindre methylkviksølv ender i toppen af fødekæden. Østersøen er i øjeblikket stærkt påvirket af de næringsstoffer, som udledes af landende omkring Østersøen, men der arbejdes på at reducere udledningen i fremtiden. »Hovedformålet med mit studie er at finde ud af, om en utilsigtet konsekvens af, at vi forbedrer den generelle tilstand i Østersøen er, at kviksølvkoncentrationerne i fødekæden vil stige«, siger Anne.

Mange af processerne, som Anne kortlægger i Østersøen, er generelle for akvatiske systemer. Resultaterne kan derfor også overføres til andre akvatiske økosystemer rundt om i verden. »Der er mange, som studerer individuelle processer og deres indvirkning på kviksølv marine kredsløb, men indtil nu er der meget få eksempler på, at forskere samler denne viden i modeller og prøver at forstå den samlede indvirkning på forskellige typer af akvatiske økosystemer, « siger Anne. »Jeg håber, at forståelsen for, hvordan de forskellige processer spiller sammen på økosystem-niveau fra mit modeludviklingsarbejde, vil kunne hjælpe andre forskere til at sætte deres type af økosystem ind i en større sammenhæng. ■

### Videre læsning:

Info fra Miljøstyrelsen:  
<http://mst.dk/73863>

Minamata Konventionen:  
[www.mercuryconvention.org](http://www.mercuryconvention.org)

Geoviden nr. 2/2015 har  
et tema om kviksølv.

## Matematikvejlederuddannelsen

”Man får lyst og mod til at prøve nye undervisningsmetoder”

**Vi kender dem alle. Flittige og arbejdssomme gymnasieelever der alligevel snubler over de matematiske problemer - både i faget matematik og i de mange matematikafhængige fag.**

### Kort om uddannelsen

Matematikvejlederuddannelsen giver redskaber til at fjerne snublestenene for elever med læringsvanskeligheder.

Uddannelsen viser via simple tests, hvordan du indentificerer og diagnostiserer de elever, der har problemer. Gennem arbejdet med miniprojekter bliver undervisningen gjort praksisnær, og du kan fra første semester hjælpe dine elever med læringsvanskeligheder til en ny forståelse af matematikfaget.

”Man får et helt andet perspektiv på egen undervisning. Matematikvejlederuddannelsen forsyner os med et begrebsapparat og en praktisk erfaring, der gør os bedre i stand til at forstå eleverne.

Det er tankevækkende hvor usikker, selv de dygtigste elevers matematiske viden er. Uddannelsens teoretiske indhold har hjulpet mig til at forstå problemernes karakter. Det er meget berigende”

*Jørgen C. Ebbesen, cand. scient.  
Marie Kruses Skole*



## Roskilde Universitet

Læs mere på om uddannelsen på [matematikvejleder.ruc.dk](http://matematikvejleder.ruc.dk)



# Bier og sprøjtemidler

## – en farlig cocktail?



En uheldig bivirkning ved at bruge sprøjtemidler mod skadelige insekter er, at også nyttige insekter som bier bliver påvirket. Hvor stort problemet er, kan være svært at vurdere ud fra de standardtests, man hidtil har brugt.

### Forfatterne



Marianne Bruus  
Institut for Bioscience  
mbp@bios.au.dk



Yoko L. Dupont  
Institut for Bioscience  
yoko.dupont@bios.au.dk



Peter Borgen Sørensen  
Institut for Bioscience  
pbs@bios.au.dk



Tove Steenberg  
Institut for Agroøkologi  
tove.steenberg@agro.au.dk

Alle er seniorforskere ved Aarhus Universitet

Den 1. december 2013 indførte EU et midlertidigt forbud mod brugen af 3 pesticider af typen neonikotinoider i blomstrende afgrøder. Disse stoffer er globalt blandt de mest anvendte giftstoffer, som bruges til bekæmpelse af skadevoldende insekter. Forud var gået en voldsom debat blandt modstandere og tilhængere af et forbud. Problemet var, at man mistænkte disse giftstoffer for at være en af årsagerne til den uforklarlige bidød CCD (Colony Collapse Disorder), hvor honningbier er forsvundet sporløst fra bistader i Europa og USA. Men kun få undersøgelser havde belyst dette problem. Denne problemstilling skrev Christa Berg om i *Aktuel Naturvidenskab* nr. 4/2013, og et godt spørgsmål er derfor, om vi her – på tærsklen til at det midlertidige forbud udløber den 1. december i år – er blevet klogere. Det vil vi se på i denne artikel og perspektivere til vores egen forskning i bier og sprøjtegifte.

### Ingen krystalklar konklusion

Siden EU's midlertidige forbud er der publiceret en lind strøm af artikler om sideeffekter på bier. Ved de små koncentrationer, som forekommer i nektar og pollen, er disse stoffer ikke dødelige for bierne. Men der er rapporteret om såkaldte subletale (ikke-dødelige) effekter, som på den lange bane kan blive udslagsgivende for biernes overlevelse og formering. Ved indtagelse af små mængder neonikotinoider er der set nedsat indlæring, hukommelse og orienterings- og fødesøgningsevne hos voksne bier samt nedsat udviklingshastighed og klækningssucces hos yngel. Undersøgelser publiceret i de ansete

tidsskrifter *Science* og *Nature* har vist, at kolonier af honningbier og humlebier voksede dårligere og producerede færre dronninger, hvis de blev fodret med sukkervand, der indeholdt neonikotinoider. Selvom bierne ikke umiddelbart dør, vil de derfor klare sig dårligt på længere sigt. Andre undersøgelser har ikke kunnet måle en virkning på honningbier ved indtagelse af små mængder neonikotinoider.

Et vigtigt spørgsmål er fortsat, hvilke koncentrationer af neonikotinoider en fouragerende bi møder i feltet, og om de har en skadelig virkning. I en helt ny undersøgelse (fra august 2015) sammenholdes data for anvendelsen af neonikotinoider og bidød i knap 130.000 honningbistader i Storbritannien over 10 år – og der kunne dokumenteres en sammenhæng mellem belastningen med neonikotinoider og bidød. Undersøgelsen er dog ikke et kontrolleret forsøg, og vi ved derfor ikke, om neonikotinoiderne er hovedårsagen til bidøden, eller om andre faktorer har spillet ind.

Et par mindre undersøgelser, hvor uforgiftede honningbistader blev placeret i eller ved marker behandlet med neonikotinoider, kunne ikke dokumentere negative effekter på bierne. Det samme gjorde sig gældende i en artikel publiceret tidligere i år, hvor antallet af voksne bier i honningbistader var upåvirkede i landskaber med neonikotinoidebehandlet raps. Derimod klarede både enlige bier og humlebier sig markant dårligere i nærheden af neonikotinoidebehandlede marker sammenlignet med ubehandlede marker.



Foto: Colourbox

## Typer af insekticider

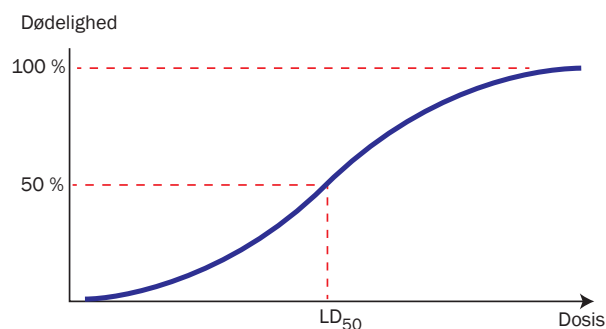
Der findes et spektrum af forskellige insektgifte, som klassificeres på forskellige måder. Overordnet er der to former for insekticider, som igen dækker flere forskellige typer stoffer. Kontaktinsekticider er udelukkende giftige for insekter ved direkte kontakt. Det kan være organiske eller uorganiske kemiske forbindelser, eller fx udtræk af planter. En almindeligt anvendt gruppe af kontaktmidler er pyrethroiderne, som virker som nervegift for insekter. Stofferne er oprindeligt udviklet fra udtræk af krysanthemumblomster (opkaldt efter det gamle slægtsnavn for krysanthemum: pyrethrum) og produceres nu også i form af syntetiske produkter.

Systemiske insekticider bliver derimod optaget i planten. Det er almindeligt at bejdse (behandle) frø med disse gifte, som så bliver fordelt i planten, efter frøet er spiret. Planten bliver derfor giftig at spise for skadedyr, men også pollen og nektar kommer til at indeholde små koncentrationer af giften. Neonikotinoide er en forholdsvis ny gruppe af systemiske insekticider, som kom på markedet i 1990'erne, og som i dag er blandt de mest anvendte insektgifte. De inddeles i to grupper, hvoraf den ene (nitro-gruppen) anses for mere giftig end den anden (cyano-gruppen). De tre midlertidigt forbudte stoffer i EU tilhører den første gruppe.

Den reelle risiko for sideeffekter på honningbier er altså ikke krystallklar, men de få eksisterende undersøgelser tyder på, at tests på honningbier ikke kan oversættes direkte til vilde bier. Brugen af neonicotinoide kan derfor potentielt få alvorlige konsekvenser for biodiversiteten.

### Test af pesticider

I EU er der krav om, at sprøjtegifte testes for deres giftighed på en række af organismer, inden de kan anvendes. Blandt bestøverne er det dog indtil videre kun honningbier, og ikke vilde bier, som indgår i tests. I konventionelle standardtests i laboratoriet tester man, hvilken giftvirkning stoffet har på honningbier, typisk 48 timer efter at bierne har haft kontakt med eller indtaget stoffet. Et mål for stoffets giftighed kaldes  $LD_{50}$ , og det er defineret som den dosis, der skal til for at halvdelen af testdyrene



I en dosis-respons test bestemmes andelen af døde dyr (her honningbier) ved forskellige doser, således at der kan tegnes en dødelighedscurve som vist.  $LD_{50}$  er den dosis, hvor halvdelen af forsøgsdyrene dør.

Et humlebistade fra et feltforsøg på Aarhus Universitet. Forsøgsstaderne udsættes for insekticider gennem forgiftet sukkervand. Herefter sættes de ud i landskaber med lav belastning af pesticider, og koloniernes udvikling følges gennem sæsonen.

Foto: Yoko L. Dupont



Langtidsvirkninger på humlebiers yngel og boudvikling kan måles i laboratorieforsøg med mikro-kolonier, som fodres med pesticidholdig føde. En mikro-koloni består af fem humlebiarbejdere fra samme stade, som sættes sammen i en lille kasse med pollen (i petriskålen øverst til højre) og sukkervand (i røret øverst). Efter nogle dage begynder gruppen at bygge et bo. Der kan således måles på parametre som antal æg, larver, honningkrukker, døde larver (der kastes ud af boet), samt nyklækkede voksne bier.

Foto: Marianne Bruus



Mikro-kolonier kan testes under mere realistiske, feltlignende forhold, som her i mindre bure. Der kan fx måles på adfærdsparametre, såsom antal gange en bi forlader boet for at søge føde.

Foto: Yoko L. Dupont

dør. Jo mindre  $LD_{50}$ -koncentration, des mere giftigt er stoffet. Hvis der påvises en giftvirkning, skal stoffet yderligere testes i forsøg i felten eller under feltlignende forhold (fx i et væksthus).

Dødelighed er i virkeligheden en grov målestok for effekter, og det ville derfor være relevant også at se på mere subtile effekter som fysiologiske ændringer (målt som fx udviklingshastighed) og adfærsændringer (fx indlæringssevne eller fourageringseffektivitet). Disse ikke-dødelige effekter kan have betyd-

ning for, om bestanden af bier kan overleve på længere sigt. Men de er sværere at måle og indgår som regel ikke i standardtests.

### En tretrins-raket

Tilbage i 2012 blev et ekspertpanel i EFSA (European Food Security Agency, som rådgiver myndigheder i EU om spørgsmål angående fødevarer sikkerhed), bedt om at vurdere det videnskabelige grundlag for risikovurdering af plantebeskyttelsesprodukter (herunder insekticider) for vilde bier og hon-

**LÆS MERE**  
[NANO.AAU.DK/SRP](http://NANO.AAU.DK/SRP)

# HJÆLP TIL DIT STUDIERETNINGS- PROJEKT?

LAV FORSØG TIL DIT STUDIERETNINGSPROJEKT  
I AAU'S VELUDSTYREDE LABORATORIER, OG SPAR  
MED VORES DYGTIGE FORSKERE.

DU KAN FÅ HJÆLP TIL EMNER SOM:

## **FYSIK**

SUPERLEDNING  
KVANTEMEKANISKE TUNNELEFFEKTER  
UV-LITOGRAFI  
BESTEMMELSE AF PLANCK'S KONSTANT

## **KEMI/BIOTEKNOLOGI**

METALLISKE NANOPARTIKLER  
MICELLER  
PEPTIDSYNTESE  
ENZYMKINETIK



AALBORG UNIVERSITET

I det danske landbrugsland er blomstrende rapsmarker en udbredt og vigtig ressource for både honningbier og vilde bier. Men konventionelt dyrket raps kan være behandlet med insekticider, som utilsigtet også kan påvirke bestøvere.

Foto: Colourbox



ningbier. Rapporten konkluderer bl.a., at der er utilstrækkelig viden om sideeffekter af pesticider på bier, særligt humlebier og enlige bier, og navnlig på målepunkter ud over dødelighed. Især mangler der undersøgelser i felten og under feltlignende forhold, da sådanne er nødvendige for at kunne sammenkæde resultaterne fra laboratorietests med den reelle risiko ved pesticidanvendelse i marken.

EFSA anbefaler derfor en udvidet risikovurdering, hvor resultater fra laboratorieforsøg kædes sammen med resultater fra semi-feltforsøg, som igen kædes sammen med resultater fra feltforsøg. Gennem en sådan trinvis undersøgelse vil man mere præcist kunne fastlægge sammenhængen mellem virkninger målt i laboratoriet og den reelle risiko ved brug af giftstofferne i marken.

På Aarhus Universitet er vi i øjeblikket i gang med en sådan trinvis undersøgelse af sideeffekter på humlebier af tre insekticider, som bruges til bekæmpelse af skadedyr i blomstrende afgrøder, fx raps. Et af disse stoffer er et neonikotinoid (Biscaya), som anses som mindre giftigt for bier end de tre neonikotinoide, der er omfattet af EU's midlertidige forbud.

#### Fra laboratoriet til den virkelige verden

Bierne kan udsættes for insekticider, når de bliver ramt under sprøjtning, eller når de kravler rundt på sprøjtede planter. En anden eksponeringsvej er gennem føden (oralt), hvor bierne eller deres larver ind-

tager pesticidforurenede nektar, pollen eller vand. Derfor er det for visse pesticider et krav, at blomstrende afgrøder sprøjtes om aftenen eller om natten, hvor i hvert fald honningbierne ikke er aktive. Det kan være svært at vurdere, hvor meget og hvilke giftstoffer en bi udsættes for, når den søger føde i landskabet. I landbrugslandet bliver der i løbet af sæsonen sprøjtet med forskellige pesticider; nogle er kortvarigt virkende kontakt-insekticider, mens andre er såkaldt systemiske midler med længerevarende effekt (se boks). Hertil kommer svampemidler, ukrudtsmidler og andet, som kan spille sammen med insekticiderne. Disse "cocktaileffekter" er meget lidt udforskede.

#### Parasitter og andre stressfaktorer

Virkninger af pesticider afhænger også af dyrenes generelle helbredsstand. I laboratoriet bruger man som regel ensartede, sunde forsøgsdyr, som fodres og passes efter en bestemt protokol. Men bier, som lever i det fri, får forskellige sygdomme og parasitter, og i nogle perioder kan dårligt vejr eller mangel på blomster i landskabet føre til sult. Det må derfor antages, at vilde bier generelt lever med et vist niveau af stress.

Honningbier, som har været udsat for pesticid, har et dårligere forsvar mod parasitten *Nosema*. Det er derfor nærliggende at forvente, at bier, som er svækkede af sygdom, klarer sig dårligere, når de udsættes for pesticider. På Aarhus Universitet er vi i gang med at undersøge virkningen af pesticider på hum-

lebier, som har været udsat for svampeinfektion (*Beauveria bassiana*) eller sult i perioden op til laboratorie-testen. Foreløbige resultater af svampeforsøget viser, at den akutte dødelighed ( $LD_{50}$  indenfor 48 timer) ikke forhøjes væsentligt ved infektion med denne svamp. Men flere forsøg, inklusiv længerevarende forsøg, er undervejs.

### Bier er ikke bare bier

Bier udgør en ret mangfoldig gruppe af insekter. De mindste er få millimeter lange, mens humlebidronninger kan blive så store, at de ser ud til at have svært ved at lette. I Danmark har vi 286 arter af vilde bier, hvoraf langt hovedparten er enlige. Hos enlige bier bygger hver hun sin egen rede og passer sit eget afkom. Andre bier, heriblandt humlebier, er sociale – dvs. en dronning grundlægger et bo med arbejderbier. Hos humlebier når et bo højst op på et par hundrede arbejdere. Honningbier er topscorer blandt de sociale biarter med kolonier, som kan nå op på 50.000 arbejdere, og hvor bierne kan kommunikere med hinanden om placeringen af gode blomsterkilder. Omvendt er humlebieerne aktive ved lavere temperaturer end honningbier. Der er derfor nogle grundlæggende forskelle i biologien hos honningbier og vilde bier, som kan have indflydelse på, hvordan de reagerer på giftstoffer.

Forskellige biarter (og individer) kan foretrække forskellige slags blomster. Honningbier, som er

stærke flyvere og har store, ressourcekrævende kolonier, flyver gerne flere kilometer (op til 10 km) til en større blomsterkilde, fx en stor rapsmark. De fleste humlebier og enlige bier har et mindre ressourcebehov og flyver højst et par hundrede meter fra reden.

Når man tager de biologiske forskelle i betragtning, er det tankevækkende, at de konventionelle standardtests udelukkende bliver udført på honningbier. Tests lavet på humlebier antyder, at den akutte kontakthæftighed for humlebier generelt ligger på ca. samme niveau som for honningbier. Men enlige bier er som oftest mindre i kropsstørrelse (og dermed måske mere påvirkelige?). En ny undersøgelse har dokumenteret, at vilde bier, men ikke honningbier, klarer sig dårligere nær rapsmarker behandlet med neonicotinoider.

Der er derfor mange aspekter at tage hensyn til, når viden om sprøjtegiftes sidevirkninger skal inddrages i testning af pesticider, og disse dækkes oftest ikke af standardtests. EFSA har for nyligt udarbejdet en ny vejledning til risikovurdering af plantebeskyttelsesmidler, som endnu ikke er vedtaget. Denne medtager bl.a. tests på vilde bier. Som forskere er vores opgave så detaljeret og præcist som muligt at danne det videnskabelige grundlag, som beslutninger træffes ud fra, således at vores bestøvere fortsat kan leve i agerlandet. ■

### Videre læsning

Bruus M, Dupont YL, Grant R, Mathiassen SK, Kryger P, Spliid NH, et al. 2013. Betydningen af pesticider for forekomsten af vilde bier - og metoder til undersøgelse af denne. Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen 148. Kan hentes via [www2.mst.dk](http://www2.mst.dk)

Dupont Y. L. & Madsen H. B. 2010. Humlebier. *Natur og Museum* 1:1-36.

Goulson D. 2015. Humlen ved det hele. Don Max, 327 p. (A Sting in the Tale)

Madsen, H. B. & Dupont YL. 2013. Vilde bier. *Natur og Museum* 1:1-36.

Christa Berg: Hvem dræber honningbierne? *Aktuel Naturvidenskab* nr. 4/2013.

# Hvis du havde én dag...

...som studerende på en naturvidenskabelig uddannelse

## Så kunne du...

- ...opleve studiemiljøet
- ...snakke med de studerende
- ...være med til undervisningen
- ...prøve en helt almindelig dag på studiet

**Bliv studerende for en dag**

[WWW.SDU.DK/BROBYGNING](http://WWW.SDU.DK/BROBYGNING)



# Forfejlet kritik fra Center for Is og Klima

## Om forfatteren



Af Jens Morten Hansen, statsgeolog og adjungeret professor i naturfilosofi  
jmh@geus.dk

Klimatopmødet i Paris (december 2015) tager det udgangspunkt, at nutidens klimaforandringer primært er menneskeskabte, herunder ændringer i havets højde. Blandt andet her i Aktuel Naturvidenskab har jeg modsætningsvis tilladt mig at argumentere for, at de observerede ændringer i havniveauet er resultat af naturlige svingninger. Det kommer derfor ikke bag på mig, at vores resultater søges miskrediteret. I sidste nummer af Aktuel Naturvidenskab (nr. 4/2015) fik jeg lejlighed til at svare Aslak Grinsted, Jørgen Peder Steffensen og Bo M. Vinther (alle Center for Is og Klima) på deres kritik af en afhandling af mig, Troels Aagaard og Antoon Kuijpers (alle Geocenter Danmark) i Journal of Coastal Research (refereret i forrige nummer af AN). Jeg fik imidlertid ikke mulighed for at svare på den efterfølgende replik af Grinsted og kolleger. Det gør jeg derfor i et indlæg, som du kan læse i fuld version på Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside.

Her vil jeg blot gengive de overordnede punkter og endvidere oplyse læserne om, at vi i mellemtiden også har givet svar på en kritik fra tre DMI-ansatte. Vores svar til dem udgives i næste nummer af Journal of Coastal Research. Jeg er selvfølgelig bæret over, at der sættes så store ressourcer ind i forsøget på at pille vores resultater fra hinanden. Det er langt bedre end den sædvanlige attitude (fortielse) til kritik af FN's internationale klimapanel (IPCC).

Imidlertid er kritikken fra Center for Is og Klima (ligesom kritikken fra DMI) af rent statistisk art. Kritikken bygger på den velkendte omstændighed, at selv om man kan påvise en meget høj korrelation (i dette tilfælde 0,997) mellem en model og virkeligheden, kan man ikke beregne realistiske konfidensniveauer, når korrelationen udtrykker en eller flere cykliske svingninger, der overlejrer en generel stigning.

Hertil er blot at sige, at denne generelle mangel på metoder i statistisk videnskab hverken kan styrke eller svække en hypotese. Derfor er kritikken stort set tom, fordi statistikken af principielle grunde hverken kan bekræfte eller afvise vores hypotese. Det afgørende er derfor i hvor høj grad,



vores model kan rekonstruere naturvidenskabeligt relevante observationer, der ikke er indbygget i modellens præmisser. Ligeledes er det afgørende, om modellens resultater – modsat de fagligt helt irrelevante eksempler, som Grinsted m.fl. underholder læserne med – kan tillægges naturvidenskabeligt plausible årsagsforklaringer. Og her er min konklusion, at kritikken er forfejlet, da der er fin overensstemmelse mellem vores hypotese og alle de relevante empiriske observationer, vi har kendskab til.

En del af kritikken er, at måleseriens længde (160 år) er for kort. Hertil er blot at sige, at bedre ikke findes i denne verden uden at anvende fx geologiske proxy-data (hvilket vi også har gjort). Her er det derfor værd at bemærke, at vores måleperiodes længde langt overgår de efterhånden mange, opskræmmede vandstandsmodeller og -prognoser, som fabrikeres på basis af satellitmålinger, og som allerhøjest går tilbage til 1992-93, dvs. maksimalt dækker en periode på 23 år. En kritik af nogle af disse kort-tidsbaserede studier havde været noget mere på sin plads. ■

Læs Jens Morten Hansens replik i sin fulde længde på [aktuelnaturvidenskab.dk/nyeste-numre/5-2015](http://aktuelnaturvidenskab.dk/nyeste-numre/5-2015).



# GYMNASIELÆRERDAGE 2015/16

– FAGLIGE INSPIRATIONSDAGE MED NYT FRA  
FORSKNINGENS OG UNDERVISNINGENS VERDEN

**ASTRONOMIDAG:** Fredag d. 1. april 2016

**BIOLOGILÆRERDAG:** Fredag d. 28. oktober 2016

**FYSIKLÆRERDAG:** Fredag d. 22. januar 2016

**KEMILÆRERDAG:** Fredag d. 15. januar 2016

**MATEMATIKLÆRERDAG:** Fredag d. 18. marts 2016

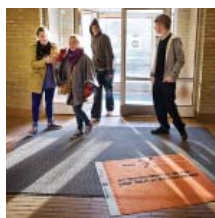
**NATURGEOGRAFI- OG GEOVIDENSKABLÆRERDAG:** Torsdag d. 31. marts 2016

**TEKNIK- OG TEKNOLOGIDAG FOR LÆRERE:** Onsdag d. 18. november 2015

**TEKNOLOGIHISTORIELÆRERDAG:** Torsdag d. 28. oktober 2015



KOM OGSÅ TIL  
OFFENTLIGE  
FOREDRAG I  
NATURVIDENSKAB



Institutterne ved fakultetet Science and Technology inviterer til gymnasielærerdage med bl.a. faglige foredrag fra forskningen, ideer til emner I kan benytte i undervisningen og præsentation af instituttets tilbud til gymnasier.

Du kan desuden netværke med undervisere fra andre gymnasier.

Gymnasielærerdagene har fri adgang, men kræver tilmelding

LÆS MERE PÅ [SCITECH.AU.DK/GYMNASIELAERERDAG](http://SCITECH.AU.DK/GYMNASIELAERERDAG)



# Hvordan kan man sige nej til GMO?

Om forfatterne



Katla Heðinsdóttir,  
Filosofistuderende på  
Københavns Universitet,  
katlahedinsdottir@  
hotmail.com



Mickey Gjerris  
Lektor i bioetik ved  
Københavns Universitet  
og medlem af Etisk Råd  
mgj@ifro.ku.dk

Modstandere af genteknologi udtrykker ofte deres bekymring med, at teknologien er “unaturlig”. Men hvad mener de egentlig med det? Og er det et synspunkt, der skal tages seriøst, hvis genmodificering af fødevarer kan være med til at eliminere sult og fejlnæring i verden?

Forskerne bag den genmodificerede (GM) plante *Golden Rice* modtog i april i år prisen *Patents for Humanity*, der blev overrakt i Det Hvide Hus. *Golden Rice* er en sort af ris, der er blevet genmodificeret til at indeholde store mængder beta-caroten, som er et forstadium til A-vitamin. Mangel på A-vitamin er et stort problem i tredjeverdenslande, hvor kosten hovedsagelig består af ris, og rammer primært kvinder og børn. A-vitaminmangel forårsager op mod 2 millioner dødsfald hvert år, og yderligere 500.000 bliver ramt af permanent blindhed. *Golden Rice* er et af de hyppigst anvendte eksempler, når fortalere for GM-fødevarer vil demonstrere, at

teknologien kan bruges til at øge næringsindholdet i almindelige og billige fødevarer og derved bidrage til at løse de store problemer med fejlnæring i fattige lande.

Samtidig med, at GM-teknologien i skikkelse af *Golden Rice* modtog den præsidentielle hæder i USA, er Europa-Kommissionen i gang med at give medlemslandene mulighed for at nægte GM-fødevarer og foder adgang til det nationale marked, på trods af en forudgående godkendelse fra EU. Det er et klart brud med de almindelige normer i det indre EU-marked. Årsagen er, at Europa har en



## Golden Rice

Golden Rice er en sort af ris, som er blevet modificeret til at danne  $\beta$ -caroten i sine riskorn for at afhjælpe de mange problemer, som mangel på A-vitamin giver mennesker i fattige områder i verden. Når man spiser risene, omdanner kroppen selv  $\beta$ -carotenet til A-vitamin. En almindelig risplante mangler kun to gener for at kunne producere  $\beta$ -caroten i sine riskorn. For at lave Golden Rice skal man derfor tilføje disse to gener til risplantens DNA. De to gener har man fået fra hhv. påskeliljer (genet psy) og fra en jordbakterie (genet crt I).

$\beta$ -caroten er et orangerødt farvestof, som især kendes fra gulerødder, hvor det giver dem den karakteristiske farve. Når der produceres  $\beta$ -caroten i de ellers hvide riskorn, bliver kornene derfor orange, hvilket har givet Golden Rice dets navn.

Så markant er farveforskellen mellem almindelige ris og "gyldne ris", som ved hjælp af genmanipulation indeholder farvestoffet  $\beta$ -caroten.

*International Rice Research Institute (IRRI), cc-by-2.0*

markant folkelig modstand mod GM-teknologien, og at kommissionen ønsker at anerkende de betænkeligheder, som mange europæiske borgere, og mange landes regeringer, giver udtryk for.

### Skepsis i EU

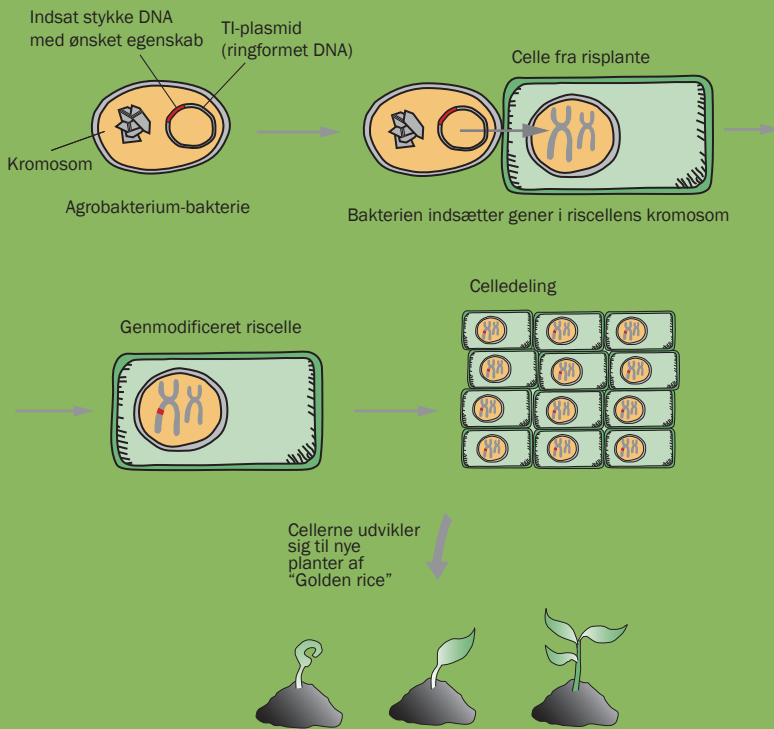
GM-teknologien har været kontroversiel, siden den dukkede op i Europa i form af genmodificerede soyabønner tilbage i 1990'erne. EU's skepsis overfor GM-teknologien har været meget kritiseret og kan da også synes problematisk, hvis GM virkelig er den bedste metode til at undgå fejlernæring i udviklingslandene. Den tidligere amerikanske præsident George W. Bush anklagede således i sin tale til BIO-konferencen (en global messe for bioteknologi) i 2003 Europa for effektivt at modarbejde indsatsen for at eliminere global sult og underernæring igennem sin modstand mod GMO. I kraft af sin betydning som importør af fødevarer fra mange af tredje verdens landene var Europa, ifølge Bush, skyld i, at de fattige lande ikke havde interesse i at

anvende genmodificering i landbruget af frygt for at blive nægtet adgang til det vigtige europæiske marked. De samme argumenter er blevet anvendt af danske forskere som Per Pindstrup Andersen og en lang række andre fortalere for teknologien.

Hvorfor være imod genteknologien, når den angiveligt kan være med til at løse problemer, som langt de fleste er enige om bør løses? Vi vil her forsøge at vise, hvad nogle af betænkelighederne drejer sig om, og måske gøre det lidt mere forståeligt, hvad en del af modstanden mod genteknologi egentlig bunder i. Håbet er, at det kan være med til at kvalificere diskussionen om GM-fødevarer.

### Et spørgsmål om "naturlighed"

Mange fortalere for teknologien mener, at forklaringen på den folkelige modstand er frygt drevet af uvidenhed. Ser man imidlertid på bl.a. de store Eurobarometerundersøgelser, får man et andet billede. Der er ikke en sammenhæng mellem videns-



## Hvordan genmodificerer man en plante?

Når man skal genmodificere en plante, er første skridt at finde og isolere det gen, som koder for den egenskab, man ønsker at overføre fra en organisme til en anden. Det er i teorien muligt at overføre et gen fra en hvilken som helst organisme til en anden.

Man kan anvende forskellige metoder til at overføre genet til den organisme, som man ønsker at modificere. Den mest anvendte metode har været at indsætte genet i bakterien jordbakterien *Agrobacterium tumefaciens* (dansk: rodshalsgalle-bakterien), som fra naturens side har evnen til at indsætte sine egne gener i plantens DNA via ringformede stykker DNA, såkaldte plasmider.

Med nye "præcisionsforædlingsteknikker" som den såkaldte CRISPR/cas9-metode tyder meget på, at effektiviteten af teknologien vil øges betragteligt. Med denne metode kan man meget målrettet få enzymer til at manipulere præcis det ene gen, som man vil have til at mutere.

niveau og tilslutning til teknologien. Øget viden om emnet leder til øget stillingtagen, men det er ikke givet, hvilken stilling man tager. I tilfældet med GM-fødevarer og landbrugsvarer er tendensen snarere den modsatte: Jo mere viden, man har om emnet, jo flere bekymringer gør man sig typisk. Påstanden om, at modstanden skyldes uvidenhed, hører man dog stadig ofte – så ofte, at den i dag har sit eget navn: *the knowledge deficit myth*.

En lang række sociologiske undersøgelser i EU har vist, at modstanden mod genteknologien ikke er en entydig afstandtagen fra teknologien. De fleste tager stilling fra sag til sag ud fra overvejelser om de sundhedsmæssige og miljømæssige risici, socio-økonomiske problemer, den reelle nytteværdi, frygt for en for stor magtkoncentration hos store virksomheder som Monsanto mm. En lang række af disse bekymringer handler ret beset ikke om teknologien i sig selv, men om konsekvenserne af at anvende teknologien og den markedsøkonomiske kontekst, som teknologien er indlejret i. Ikke alle bekymringer kan dog diskuteres indenfor en konsekvens-orienteret ramme. En karakteristisk og tilbagevendende bekymring bygger på diskussionen om, hvorvidt teknologien kan siges at være *naturlig*. Henvisninger til naturlighed i debatten om GMO er dog ildeset af mange. De, som appellerer til det, bliver ofte anklaget for at være følelseladede, irrationelle, hysteriske og uvidende. Ikke desto mindre viser Eurobarometerundersøgelserne, at en stor del

af skepsissen overfor teknologien baserer sig på, at teknologierne netop anses for at være unaturlige. I den seneste undersøgelse fra 2010 var 70 % af de adspurgte enige i, at transgene produkter grundlæggende er unaturlige, og mange af de bekymringer, der blev udtrykt, relaterede sig netop til, hvad man kan kalde "naturlighedsargumentet": At GM-teknologien er unaturlig, og at det på en eller anden måde gør den etisk problematisk.

### Det naturlige – et vidt begreb

Argumenterne imod de betænkeligheder, som hviler på naturlighedsargumentet, går på, at naturlighed er et ubrugeligt begreb. Ofte hævdes det, at enten er det "naturlige" det, som ikke er berørt af mennesker – og så er det meste "unaturligt". Eller også er mennesket natur – og dermed alt, hvad mennesker udretter også "naturligt". Begrebet er derfor meningsløst. Derudover, lyder det, kan man ikke uden videre trække en linje fra "unaturlig" til "forkert".

Det er imidlertid en almindelig erfaring, at vi opfatter ting som mere eller mindre naturlige. Fx vil de fleste nok opfatte uld, silke og bomuld som mere naturlige materialer end polyester og akryl, og et træ som mere naturligt end en iPad. Det er således et begreb, som giver mening i vores dagligdagsprog, og som vi ofte anvender – ikke kun til at beskrive noget faktuel ved selve genstanden, men også hele dens historie og kontekst. Naturlig-



hed skal således i sammenhæng med GM-diskussionen måske ikke så meget forstås som et deskriptivt begreb, der ønsker at fikse den modstanden, men snarere en slags symbolsk betegnelse for en række bekymringer. Og ofte kommer disse bekymringer til udtryk som en slags intuitiv eller umiddelbar følelse hos mange af, at “det skal vi holde os væk fra”, eller “det er ikke vores plads”, eller måske ligefrem en fornemmelse af, at vi “ikke skal lege gud”.

Mange af ovenstående bekymringer bunder i en økocentriske opfattelse af verden. Økocentrismen er en etisk position, som anskuer naturen for at være betydningsfuld i sig selv og ikke kun som værende et ressource-lager for mennesket. Dette udvider det etiske fællesskab fra kun at bestå af mennesker (og i et vist omfang dyr) til et altomfattende livsfællesskab, hvor det etiske ansvar konstant udfordres af det faktum, at vi nu en gang kun kan leve ved at anvende naturen. Kunsten bliver at finde den rette balance mellem respekt og udnyttelse. Modstand mod GM i denne sammenhæng kan grundlæggende bunde i en uenighed med det natursyn, som GM bliver set som udtryk for: Et syn, hvor naturen kun er en ressource til at tilfredsstille menneskets behov og lyster.

### Det logiske næste skridt?

Fortalerne for GM-teknologien hævder ofte, at GM ikke er andet end det logiske næste skridt i forhold til de traditionelle forædlingsmetoder, hvor man krydser udvalgte planter for at forbedre egenskaber som udbytte, kvalitet og resistens mod sygdomme. Hvis man accepterer disse, er der ingen logisk forklaring på, hvorfor man skulle afvise GM, da de begge er lige “unaturlige” i den forstand, at de er udtryk for menneskelig kontrol over naturen. Her kan en forståelse af naturlighed som et gradbøjeligt begreb hjælpe med at forstå, hvorfor man alligevel kan synes, at det sidste skridt er et skridt for langt. Mens traditionel forædling kan siges at



udnytte de biologiske mekanismer, som naturen selv udvikler sig gennem, så muliggør GM-teknologien, at man kan overføre gener fra en hvilken som helst organisme til en anden i et laboratorium. På denne måde kan man fx indsætte gener i en plante, der sætter planten i stand til at fremstille biologisk nedbrydeligt plastik. Det sker også i naturen, at fx bakterier indsætter deres egne gener i planter, men i forhold til naturlighedsdiskussionen er det centrale, at det ikke er “det typiske” eller “det nor-

male” men undtagelsen, at udviklingen finder sted på den måde og – ikke uvæsentligt – at der etisk set er forskel på det, som sker i naturen gennem “blind tilfældighed” og det, som mennesker gør bevidst. Anskuer man naturen som værdifuld i sig selv, indebærer det, at der findes grænser for, hvor langt vi kan tillade os at gribe ind i naturens orden. Derfor kan det at ændre ved så grundlæggende strukturer som organismers instrumentale ses som værende udtryk for en total instrumentalisering af andre livsformer, fordi formålet ultimativt er at tilpasse organismene vores landbrugsmæssige og industrielle behov. Således at forgribe sig på andre organismer, uden at det er tvingende nødvendigt, bliver anset for respektløst – og derfor etisk problematisk.

### Forståelse giver interessante diskussioner

Her kan man selvfølgelig spørge, om ikke det at afhjælpe verdens sult- og fejlnæringsproblemer, kan anses som værende “tvingende nødvendigt”. Er det rimeligt, at en skepsis baseret på økocentriske forestillinger, som dem beskrevet her, skal stå i vejen for en løsning på disse problemer? Og kan det nogensinde anses som værende moralsk forsvarligt at bekymre sig mere om ikke at krænke naturens værdighed end at afhjælpe de lidelser, som rammer millioner af mennesker? Hertil vil modstandere af GM-teknologien svare, at det er en alt for forenklet måde at beskrive situationen på. De vil ikke acceptere, at alternativerne enten er genteknologi eller hungersnød, men peger på, at der findes andre løsninger på problemerne.

Årsagen til fejlnæring og sult skal nemlig ikke findes i landbrugets begrænsninger, men i en lang række komplekse faktorer, som fattigdom, krig og uretfærdig fordeling af ressourcer for blot at nævne nogle få. Det er derfor tænkeligt, at genmodificering af fødevarer nærmere kan vise sig at være en symptombehandling, som ikke gør noget for at afhjælpe de dybereliggende sociale problemer, som sult og fejlnæring er en konsekvens af.

Alt i alt er GMO-debatten ikke udelukkende en diskussion om muligheder og risici for mennesker, som den politiske diskussion synes at ville lægge op til. Det er i høj grad også en værdidiskussion om menneske-, kultur- og natursyn. Og hvis man har et verdenssyn, hvor man værdsætter både naturen og hinanden, og hvor man mener, at der er etiske grænser for, hvad man kan tillade sig at gøre ved andre livsformer, så giver det mening at bekymre sig om, hvorvidt vi forsømmer dele af det etiske fællesskab for at opnå et formål, der kan opnås på andre måder. Det er ikke en holdning, man behøver at dele. Men begynder man at forstå, hvad der skjuler sig af værdier bag et udsagn om “unaturlighed”, kan det være, at diskussionen med dem, som man er uenig med, bliver lidt mere oplysende og interessant. ■

### Videre læsning:


Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (2014): Final Report for the International Symposium on Agroecology for Food Security and Nutrition. 18 and 19 September 2014, Rome, Italy. Rome. FAO. URL: <http://www.fao.org/3/a-i4327e.pdf>

Gaskell, George (2010): Europeans and biotechnology in 2010. Winds of Change? A Report to the European Commission's Directorate-General for Research, Luxembourg: European Union. URL: [http://ec.europa.eu/public\\_opinion/archives/ebs/ebs\\_341\\_winds\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_341_winds_en.pdf)

Hansen, J; L. Holm, L. Frewer, P. Robinson, P. Sandøe. (2003): "Beyond the Knowledge Deficit: Recent research into Lay and Expert Attitudes to Food Risks" i *Appetite*, vol. 41, issue 2, s. 111-121, Elsevier.

Jensen, Mette Buck (2010): "Fattigdomsekspert: Afrikanere sulter på grund af Europas GMO-modstand" i *Ingeniøren*, 3. marts, Mediehuset Ingeniøren A/S. URL: <http://ing.dk/artikel/fattigdomsekspert-afrikanere-sulter-pa-grund-af-europas-gmo-modstand-106875>

Sandøe, Peter og Kathrine Hauge Madson (2007): "Agricultural and Food Ethics in the Western World: A Case of Ethical Imperialism?" i *Pinstrup-Andersen, Per og Peter Sandøe (red.): Ethics, Hunger and Globalization. In Search of Appropriate Policies*, Springer.



Poul Jensen er rumfysiker og vild med nordlys.  
Han udgiver nu efter fem års optagelser og  
klipning filmen *Beneath the Aurora* for at dele  
sin fascination af det gådefulde fænomen  
med os andre.

# Når nordlyset fænger

Poul er ti år gammel. Han er med mor og far på en længere køretur i bil. For at holde kedsomheden fra livet spejder han ud af bagruden. Pludselig får han øje på et usædvanligt lysskær på himlen, der er helt anderledes end noget andet, han har set før. »Min mor og far fortalte mig, at det, jeg havde set, var nordlys.«

Nordlyset, Poul Jensen så, vækkede hans interesse med det samme. Det kom i en særligt hektisk uge i slutningen af 80'erne, hvor danskerne flere nætter i træk kunne se bølgede gardiner med grønne og røde farver dække store dele af himlen.

»Det var ikke noget, der var snak om, hverken i fjernsyn eller radio. Man skulle være heldig at være ude på det rigtige sted og tidspunkt. Jeg brugte meget tid med at spejde efter det, og jeg kan huske, jeg endda har lokket en kammerat til at sidde på en roekule og fryse i nogle timer for at se det,« griner Poul Jensen.

Som Poul og hans forfrosne kammerat måtte sande, så var ugen, hvor Pouls interesse blev grundlagt, usædvanlig og unik. Det er sjældent, at det, forskerne benævner nordlysovalen, strækker sig helt ned over Danmark. Det kræver en såkaldt geomagnetisk storm af en styrke, der kun forekommer gennemsnitligt hvert tredje år – og ganske uregelmæssigt. Senest, Jorden oplevede en tilstrækkelig kraftig storm, var faktisk helt tilbage i 2005.

### Starter på Solen

Nordlysovalen er en ring af nordlys, der omgiver Jordens magnetiske nordpol. Den strækker sig normalt hen over blandt andet Alaska og Norges arktiske kyst, men kan udvide sig så langt sydpå, at også vi i Danmark ser nordlys. Det er dog fortsat ikke så kraftigt og aktivt som længere nordpå.

Kilden til nordlyset er solvinden; en vedvarende strøm af ladede partikler fra Solen. Solvinden "trækker" i Jordens magnetfelt, så det danner en lang hale på natsiden. I halen oplagres energi, som til sidst udløses og accelererer partikler fanget i Jordens magnetfelt. Partiklerne får herved nok energi til at trænge ned i Jordens øvre atmosfære. Her kolliderer de med blandt andet oxygen- og nitrogen-atomer, som optager energi fra kollisionen. Den energi kommer atomerne af med igen ved at udsende lys: nordlys. Da ladede partikler følger magnetfeltlinier, føres de accelererede partikler ned i atmosfæren i en ring omkring polerne. Derved dannes nordlysovalen – og på den sydlige halvkugle en tilsvarende sydlysoval.

Skal vi opleve nordlys på danske breddegrader, kræver det som nævnt mere end blot den almindelige solvind; typisk et større udbrud på Solen. Et sådant udbrud kan slynge en sky af ladede partikler ud fra Solen med høj hastighed. Har skyen kurs mod Jorden, kan den tilbagelægge de 150 millioner kilo-

meter på 2 til 4 dage. Kollisionen med Jorden kan skabe voldsom uro i magnetfeltet – en magnetisk storm og kraftigt nordlys – hvis magnetfeltet i skyen vender rigtigt. Sandsynligheden for disse soludbrud er størst i årene omkring og efter maksimum i solaktivitet. Det seneste maksimum strakte sig fra 2011 til 2014, og der er stadig chance for at se nordlys i Danmark enkelte nætter i 2015 og 2016, selv om det næppe når den styrke, tiårige Poul oplevede.

### Ufattelig uheldig

Med det i baghovedet er din bedste chance for at se kraftigt nordlys at pakke kufferten og rejse nordpå. Og pakke kufferten er præcis, hvad Poul Jensen selv gør. Han er, allerede inden han ser nordlys første gang, interesseret i naturvidenskab, og oplevelsen med nordlys gør ikke interessen mindre. I 2001 rejser han til Alaska for at studere rumfysik på universitetet i Fairbanks. Her oplever han en martsnat i 2004 et nordlys, der i dag fortsat står som det mest intense, han har set.

»Jeg havde købt mit første gode kamera. Desværre havde vi ikke bil, så vi blev på universitetets område og kom ikke helt væk fra lysforureningen.«

Poul Jensen forklarer, at der på billederne fra den gang er en meget stærk lyserød stribe nederst i nordlyset. Den opstår kun, når nordlyset er ekstra kraftigt, fordi elektronerne skal være energiske nok til at nå ned i en højde under 100 km, hvor nitrogen udsender en blanding af blåt og rødt lys. I højder fra 500 og ned til ca. 150 kilometer er det oxygen, der udsender rødt lys. Fra 300 kilometer og ned til ca. 100 kilometer udsender oxygen også grønligt lys.

»Jeg har hverken før eller siden set så kraftig en lyserød stribe som ved den her lejlighed,« siger han.

Der er for øvrigt stor forskel fra person til person på, hvor meget farve, man kan se i nordlyset. Poul Jensen er selv en af dem, der ikke ser farverne i andet end de allerstærkeste nordlys. Det meste ser han i sort-hvidt. Andre af hans kolleger i Alaska kunne dog sagtens se farverne. Noget der med egne ord får Poul Jensen til at føle sig »ufattelig uheldig.«

»Jeg har indtryk af, at de fleste faktisk ser nordlyset i farver. Måske ikke helt med samme intensitet som på fotos, men det ligner.«

### Under nordlyset

Når Poul Jensen står under nordlyset, oplever han, hvad han kalder et "mentalt frikvarter".

»Min hjerne skifter til et andet gear, jeg er mere opmærksom, sanserne er skærpet. Jeg er i nuet, og hvad jeg går og roder med af problemer, forsvinder i baggrunden.«

Den oplevelse vil han gerne dele, og det bliver startskuddet til et 5 år langt filmprojekt, der sidste år kulminerer med udgivelsen af *Beneath the Aurora*



Poul Jensen

Af Niels Hansen  
nsh@dmi.dk

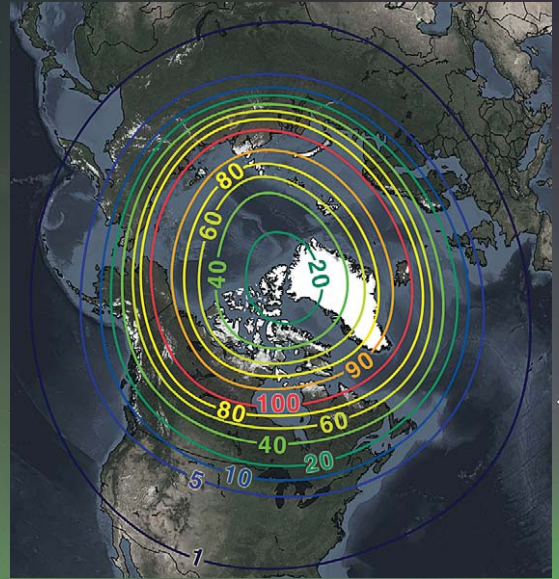
← Enlig gran tæt på Yukon River. På denne lokalitet dannes ofte rimtåge, og en tyk kappe af rimfrost ophobes på træerne i løbet af vinteren.

Fotos: Poul Jensen

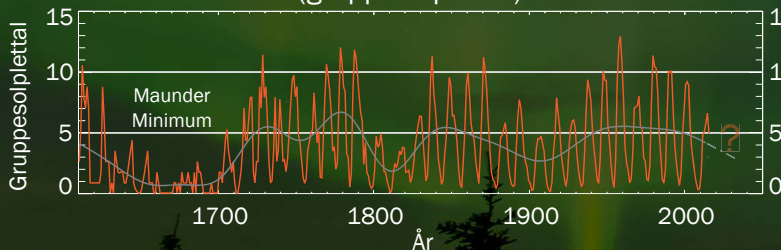
## Nordlysovalen

Figuren viser nordlysovalens placering og sandsynlighed i procent for at se nordlys på en mørk, klar nat. Sandsynlighederne er behæftet med nogen usikkerhed, da de afhænger af varierende solaktivitet. Fx har solaktiviteten i den nuværende 11-års cyklus været noget lavere end i forrige cykler, hvilket især på lavere breddegrader reducerer chancerne for nordlys betragteligt. I et bælte, der bl.a. strækker sig over Island og Norges arktiske kyst, kan man om vinteren se nordlys stort set hver nat – når vejret tillader det. Mere end halvdelen af tiden er nordlyset dog svagt og ikke aktivt.

Jordens magnetiske nordpol bevæger sig i øjeblikket fra Canada mod Sibirien med ca. 55 km om året. Nordlysovalen flytter sig dog meget mindre. Forklaringen er, at den er centreret omkring den geomagnetiske nordpol, som er forskellig fra den magnetiske nordpol. Den magnetiske nordpol er defineret som det punkt, hvor magnetfeltet er vinkelret på jordoverfladen. Dette punkt kan findes med en kompasnål og er ganske følsomt over for mindre, lokale variationer i Jordens magnetfelt. Den geomagnetiske nordpol er derimod defineret ud fra en global model for Jordens magnetfelt. Nærmere bestemt ligger den, hvor dipolaksen udledt fra denne model krydser Jordens overflade. Den geomagnetiske nordpol befinder sig på Ellesmere Island lige nordøst for Grønland og bevæger sig i øjeblikket mod nord, ca. 7 km årligt. (Poul Jensen)



### Solaktivitet (gruppesolpletal) siden 1610



### Årtiers lav solaktivitet i vente?

Den relativt lave solaktivitet i den igangværende cyklus har givet næring til en diskussion om, hvorvidt vi er på vej mod et *grand minimum*, en periode på flere årtier med lav solaktivitet. Set i historisk perspektiv virker dette scenarie ikke usandsynligt efter en række cykler med ganske høj aktivitet. En ny model baseret på analyse af Solens magnetfelt foruds-

ger, at solaktiviteten vil falde betydeligt over de næste to aktivitetscyklus. Flere andre studier peger ligeledes på, at den kommende cyklus med maximum ca. 2025 vil have markant lavere aktivitet.

Klimaforskere vil tage imod et nyt grand minimum med kyskhånd, da det kan hjælpe med at afklare, i hvilket omfang solaktivitet har bidraget til global opvarmning – et punkt, der er stor uenighed om. For nordlysentusiaster vil det til gengæld være dårligt nyt. På høje breddegrader vil nordlys fortsat være hyppigt, men mindre aktivt. På lavere breddegrader vil nordlys også stadig forekomme, omend det bliver mere sjældent. Det ved vi, fordi historiske arkiver af nordlysobservationer viser, at selv så langt sydpå som Mellemeuropa forekom nordlys de fleste år op gennem det ekstreme og lange Maunder Minimum (ca. 1645-1715). (Poul Jensen)

## Jordens magnetfelt

↑ Baggrundsfoto: De vertikale strukturer i nordlyset viser Jordens magnetfeltlinjer. I højder fra 500 og ned til ca. 100 kilometer udsender ilt rødt lys. Fra 300 kilometer og ned til ca. 100 kilometer udsender ilt også grønligt lys. I højder omkring 100 kilometer er det kvælstof, som udsender violet, blå og rødt lys.

Foto: Poul Jensen

Jordens magnetfelt danner en beskyttende "boble" om Jorden kaldet magnetosfæren. Her er ladede partikler fanget, isoleret fra solvinden, der flyder udenom. Solvinden trækker Jordens magnetfelt ud i en lang hale på natsiden, hvor magnetisk energi ophobes. Når denne energi udløses, accelereres ladede partikler og trænger ned i den yderste atmosfære (90 km og op) langs magnetfeltlinjer. Her kolliderer de med atomer og molekyler, som kan optage noget af energien fra kollisionen og udsende den igen som lys. Før fladskærmens tid fungerede fjernsyn og computerskærme på samme måde: En glasflade belagt med bestemte materialer bombarderes med elektroner, hvorved den lyser op. Når man ser nordlys, fungerer atmosfæren og magnetosfæren i fællesskab som én stor skærm, der viser en smuk visualisering af Jordens magnetfelt, og hvordan det ændrer sig. (Poul Jensen)

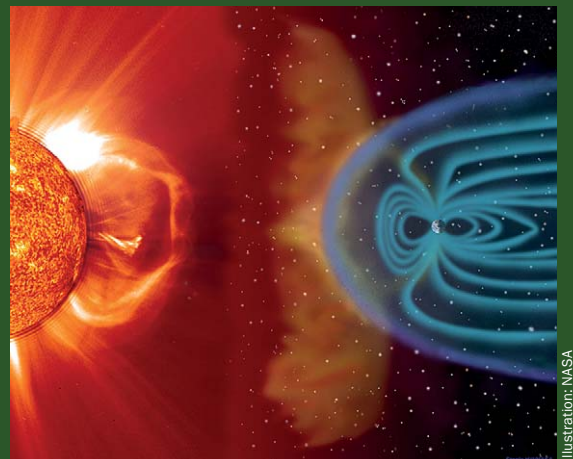


Illustration: NASA



(Under nordlyset): En 48 minutter lang film i ekstremt høj fotografisk kvalitet og med nøje udvalgt underlægningsmusik. Filmen er 100 % Poul Jensens egne optagelser og klippet sammen af 36 timers såkaldte time-lapse optagelser. Time-lapse er en teknik, hvor enkeltbilleder i fotografisk kvalitet bliver lagt efter hinanden, så de opleves som en film, der er speedet op.

I Fairbanks bor Poul Jensen i en lille hytte, hvor han installerer en hjemmebiograf, der kan fylde hyttens eneste rum med billeder og musik. Her forsøger han at genskabe de oplevelser, han selv har haft.

»Jeg skal lave et produkt, jeg selv er 100 % tilfreds med, og som fanger mig. Gør det ikke det, så er der heller ikke ret gode chancer for at sælge det til andre. Det er selvfølgelig ikke det samme som at stå derude, men det har mange af de samme elementer,« fortæller han.

Efterhånden som filmen tager form, fremviser Poul Jensen sit arbejde både for venner og ved offentlige arrangementer. Det lader til at appellere bredt, og for nogle er det ligefrem en stærk og følelsesladet oplevelse, ligesom det er for Poul selv. Hans indtryk er derfor, at mange kan få glæde af filmen.

»Jeg vil gerne nå så mange som muligt. Naturelskere, musikelskere, folk med interesse for kunst og folk med behov for afstressning. Generelt folk med en god evne til at fordybe sig – det er nøglen til at genopleve magien ved nordlyset via filmen,« siger han.

Selvom filmen har sine fordele – såsom at man kan se den i en varm sofa, når man vil – pointerer Poul Jensen, at den virkelige oplevelse helt klart er at foretrække.

»Den dag i dag vil jeg fortsat med glæde tilbringe en nat på en roekule i frostvejr for at se nordlyset udspille sig på naturens helt store biograflærred,« slutter han. ■

#### Videre læsning:

Vestine E. H. (1944), The Geographic Incidence of Aurora and Magnetic Disturbance, Northern Hemisphere, Terr. Magn. Atmos. Electr., vol. 49, s. 77-102

<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/poles/polesexp.html>

Shepherd S. J., Zharkov S. I. and Zharkova V. V. (2014): Prediction of Solar Activity from Solar Background Magnetic Field Variations in Cycles 21-23, The Astr. phys. Journal, vol. 795, s. 46-53.

Schlamminger, L. (1991): Aurora Borealis Lag during the Maunder Minimum, Solar Physics, vol. 131, s. 411-414.

## Anmeldelse: Få nordlyset hjem i stuen

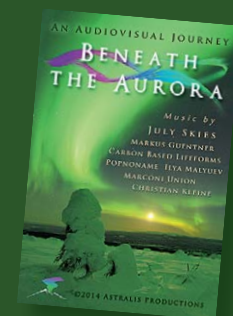
Jeg har kun et helt almindeligt 32" tv koblet til et ordinært stereoanlæg. Alligevel var familiens to voksne og to teenagere tryllebundet i de 48 minutter, *Beneath the Aurora* varer. Filmen viser formentlig nogle af verdens bedste nordlysoptagelser – i al fald de bedste, jeg har set, og jeg har set en del efter 14 år på DMI.

Formålet med filmens unikke kombination af billeder og musik er ifølge fotografen selv at genskabe hans oplevelse og de følelser, der strømmer igennem ham, når han står under nordlyset. Jeg skal ikke udtale mig om, hvorvidt jeg følte det samme som Poul Jensen, men jeg følte en masse, og det var godt.

Poul Jensen foreslår selv målgrupper til sin film i interviewet.

Jeg vil gerne tilføje yderligere en. Det er en genial intro eller afslutning på et undervisningsforløb i kemi, fysik eller geografi, der på en eller anden måde berører Arktis, atmosfærekemi, rumfysik eller bare et eller andet, der kan være en undskyldning for at vise *Beneath the Aurora*.

En anbefaling skal der følge med filmen – ud over at du selvfølgelig finder det største tv og det bedste lyd anlæg, der er inden for rækkevidde. Du skal se ekstramaterialet først. Det findes på dvd/blu-ray'en eller ligger direkte på nettet på filmens hjemmeside. Ekstramaterialet forklarer blandt andet, hvorfor mange mennesker ikke er i stand til at se farverne i nordlyset, som de ser ud på billeder og video, og hvorfor tiden er speedet op i de mange nordlysskvenser. Begge dele får dig til at sætte endnu mere pris på det, du ser. NH



Film: *Beneath the Aurora*.

Spilletid: 48 minutter.

Kan købes via [astralis-productions.com](http://astralis-productions.com) som download (HD) eller på DVD/Blu-ray. Pris download: 100 kr.

## 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
- **Joakim Groth**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Annette Lind**, områdeleder, chefkonsulent, 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
- **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

Dekan Niels Christian Nielsen, Science & Technology, Aarhus Universitet

### 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 2015

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

Abonnementsservice: Telefonnr.: 70 25 55 12

e-post: aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Layout og illustration: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S

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

Oplag: 7.500

### Omslag:

Kviksølv er det eneste metal, der er flydende ved stuetemperatur, og det er en fascinerende oplevelse at få det til at splitte op i mange små metaldråber, der kan trille rundt for til sidst igen at samle sig i en stor klump.

Foto: Shutterstock, Marcel Clemens



## 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
- **Vagn Lundsgaard Hansen**, professor, Inst. for matematik, Danmarks Tekniske Universitet
- **Palle Høj Jakobsen**, ph.d. & DMSc., Managing Director, EIT Health Scandinavian CLC
- **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, ph.d., museumsdirektør, Statens Naturhistoriske Museum
- **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.

Sponsorabonnenter:



## Intropakke



### 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](http://aktuelnaturvidenskab.dk)  
red@aktuelnaturvidenskab.dk  
eller på tlf. 70 25 55 12.

## Bogomtaler

### Fornemmelse for smag – og smagen af jul

Hvorfor skal yoghurten have en vis konsistens, for at den er indbydende som morgenmad? Hvorfor smager chokolade ikke godt, hvis den ikke siger knæk og smelter på tungen? Disse og mange andre spørgsmål har været drivende for forskeren Ole G. Mouritsen og kokken Klaus Styrbæk til sammen at gå i køkkenet og udforske smagens fysiske dimension – og dele deres oplevelser, erfaringer og begejstring med læserne i bogen *Fornemmelse for smag*.

Det samme forfatterpar går tæt på julen i en anden bog: *Smagen af jul*.

Ole G. Mouritsen og Klaus Styrbæk: *Fornemmelse for smag*. Nyt Nordisk Forlag 2015. 338 sider, 349,95 kr. *Smagen af jul*. Nyt Nordisk Forlag. 104 sider, 179,95 kr.



### Efter mennesket

Drømmen om det perfekte menneske er gammel. Men det er nyt, at et stort antal forskere systematisk arbejder på at gøre drømmen til en realitet, og at det faktisk er lykkedes at udvikle en række teknologier, der bringer os nærmere drømmens indfrielse. I bogen *Efter mennesket* giver Klavs Birkholm spørger ind til de nødvendige etiske overvejelser, der følger deraf.

Klavs Birkholm: *Efter mennesket – på vej mod homo artefakt?*  
*Samfundslitteratur 2015. 207 sider, 248,- kr.*



### Europas vadefugle

Denne bog i stort format beskriver og illustrerer Europas vadefugle og fortæller deres naturhistorie. Bogen indeholder knap 700 fotos, der er taget af nogle af verdens bedste fuglefotografer, og forfatter Lars Gejl beretter detaljeret om de 44 almindelige arter og de 38 sjældne gæster fra Nordamerika og Asien.

Lars Gejl: *Europas vadefugle*. Gyldendal 2015. 370 sider, 399,95 kr.



## ANNONCE



Ingeniørstuderende viser, hvordan de anvender naturvidenskabelige fag

## Boost din undervisning med oplæg og workshop

Book en ingeniørstuderende og få nye vinkler på matematik, kemi og innovation.

Vi tilbyder forskellige faglige oplæg og workshops, hvor vores ingeniørstuderende kommer ud til jer og viser, hvordan de anvender naturvidenskabelige og tekniske fag i praksis. Oplæggene inspirerer med konkrete projekteksempler fra de studerendes studier.

I er også velkomne hos os.

Prøv fx

• **Leg, læring og gamedesign:** Vi perspektiverer emner som design, psykologi, inno-

vation, it og teknologi med oplæg om udvikling af computerspil, brugerinvolvement og nudging med udgangspunkt i de studerendes konkrete projekteksempler.

• **Innovation, forretningsudvikling og idégenerering:** I får et indblik i et virksomhedsprojekt, hvor vi fortæller om produktudviklingsprocessen fra idégenerering af ny teknologi til lancering af produktet på det globale marked.

• **Kemi og bioteknologi:** Vi viser, hvordan vi i projekter anvender viden om kemi, enzymer og bioteknologi til fx at brygge øl på rå byg eller undersøge kinesisk malurts medicinske potentiale.

Se og book alle vores foredrag og brobygningstilbud på

[www.sdu.dk/tek/brobygning](http://www.sdu.dk/tek/brobygning)

Kontakt os for nærmere information:

Tlf. 6550 7522 / [brobygning@tek.sdu.dk](mailto:brobygning@tek.sdu.dk)

# Øl og god kemi hænger sammen

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Hvis man synes, at den danske ungdom interesserer sig lidt for meget for alkohol, vil man måske også mene, at man ikke skal stimulere interessen yderligere ved ligefrem at tilbyde dem kurser i ølbrygning som en del af uddannelsen. Men ølbrygningskurser har for længst gjort deres indtog på de danske universiteter. Og det er der gode grunde til, mener Bent Lyager, som er civilingeniør og lektor ved Institut for Kemi-, Bio- og Miljøteknologi på Syddansk Universitet. Han har de seneste fire år selv stået for et kursus i ølbrygning, som kemiingeniørstuderende kan vælge på 5. semester.

»At brygge øl er i høj grad et håndværk, men det er samtidig et glimrende udgangspunkt for at lære om avanceret bioteknologi og fødevarer«, siger Bent. Med 24 års erfaring fra fødevarerbranchen ved Bent, hvad han taler om. Det var dog ikke fordi, han særligt beskæftigede sig med øl før i tiden. »Inspirationen til kurset kom fra en kontakt til et mikrobryggeri, hvor en af ejerne var censor på et af mine andre kurser,« siger Bent. Og nu er han blevet så tændt på øl, at han også brygger i sin fritid.

## Masser af teknologi og teori i øl

Ølbrygning går i korthed ud på at skabe en velsmagende (og virkningsfuld!) væske ud fra råstofferne malt (som er korn, der kortvarigt er bragt til spiring), humle, gær, vand, råfrugt (som er uspiret korn) og forskellige smags-ingredientier. Processerne, der indgår i ølbrygning, kaldes maltning, mæskning og gæring, som i alle tilfælde er biokemiske processer. Og jo bedre man forstår disse processer og kan styre dem, jo bedre øl kan man lave.

På Bents ølbrygningskursus er det teknologien og teorien, der er i fokus. De videnskabeligt interessante aspekter af ølbrygning knytter sig fx til, hvordan enzymer og gær opfører sig under processerne. »I traditionel ølbrygning kommer enzymerne fra malten, men der eksperimenteres i dag med at brygge øl på fx byg uden aktive enzymer, og i stedet tilsætte enzymer undervejs, der er bioteknologisk skræddersyede til formålet. Det har vi også eksperimenteret lidt med – dog uden at være kommet helt i mål endnu,« siger Bent.

## Kurset er slut, skål!

At gær er yderst interessant som bioteknologisk organisme understreges af, at Novo Nordisk i dag baserer deres produktion af insulin på genmodificerede gærceller. I ølbrygning er gær en kritisk del processen, da det er gærceller, der laver sukkeret i malten og råfrugten



Foto: Mette Christina Møller Andersen

Så er der snart serveret i SDU's "øl-laboratorium".

om til alkohol. Derfor fylder gæring – både i teori og praksis – godt på Bents ølbrygningskursus.

Selvom formålet med kurset selvfølgelig er lære de studerende noget, skal der helst også komme noget sjovt ud af det fortæller Bent. »Derfor inviterer vi hele instituttet på prøvesmagning, når kurset er slut ved juletid. Og indtil videre har vi ikke fået klager over kvaliteten,« siger han. Men er de studerende så glade for at lære om ølbrygning? Bent kan i hvert fald konstatere, at selv når kurset ligger på ugens måske mest uattraktive tidspunkt fredag eftermiddag – nogle gange helt ind til kl. 19 – er der 100 % fremmøde hver gang. »Det er der vist ikke mange andre kurser, der kan konkurrere med,« griner Bent. ■