

Aktuel NATURVIDENSKAB

3 | JULI 2013

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00



Jagten på den perfekte vejrudsigt

VEJRUDSIGTEN – NU MED BAKTERIER

VARM FREMTID FOR MAGNETISK KØLING

HAVETS DUFTE

Forskere udtaler...

Forskere bør udvise forsigtighed og omhyggelighed i formidlingen af deres viden, så befolkningen ikke bliver skræmt på et mangelfuldt grundlag. Det mener Ole G. Mouritsen med henvisning til en konkret sag om risikoen ved at spise tang.



Af Ole G. Mouritsen, professor, dr. scient. Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, Syddansk Universitet.
E-mail: ogm@memphys.sdu.dk

Jeg har i en årrække af både videnskabelige og gastronomiske årsager interesseret mig for de store havalger (tang) som en lovende og uudnyttet ressource til fødevarer. Jeg har skrevet videnskabelige artikler og populærvidenskabelige artikler (også i *Aktuel Naturvidenskab*) herom, og jeg har for det danske publikum skrevet en større bog, som netop er udkommet på engelsk på et af de store amerikanske universitetsforlag. Desuden har jeg holdt mange foredrag om emnet for at give oplysning på et vidensbaseret grundlag. Jeg er fortrolig med forskningsformidling på mange niveauer og derfor meget opmærksom på, at sober formidling kræver både engagement, men også forsigtighed – ikke mindst, når det drejer sig om sundhed og fødevarer.

Derfor blev jeg ked af at se en e-artikel og tilhørende pressemeddelelse fra DTU Fødevarerinstitutionen i 2011 med overskriften: »Tang kan indeholde sundhedsskadelige stoffer.« Med denne bastante udmelding blev befolkningen skræmt fra at spise fra et helt biologisk rige – der er 10.000 forskellige tangarter! Man kunne med lige så god rette have skrevet: »Planter kan indeholde sundhedsfarlige stoffer«, idet de fleste planter faktisk indeholder giftige stoffer, fx rå grønne bønner.

Livet er farligt

En af de tangarter, der stod for skud i pressemeddelelsen, var søl (*Palmaria palmata*), som kan indeholde nervergiften kainsyre. Søl har været spist af kystbefolkninger i en stor del af verden i mindst tusind år, og det er en af de mest velsmagende og gastronomisk set mest interessante tangarter i vores vande. Den er nævnt i de islandske sagaer, og den er på den franske positivliste over tangarter, som er godkendt til fødevarerbrug. Så umiddelbart tilsiger almindelig sund fornuft, at problemet ikke kan være kæmpestort.

Og da jeg sammen med danske og udenlandske kolleger undersøgte indholdet af kainsyre i søl fra tre forskellige steder i verden fandt vi da også, at en person skal spise 30 kg tørret (eller 150 kg frisk) søl på én gang for at blive udsat for de mængder af giftstof, som man har brugt til at studere effekten af kainsyre i forsøgsdyr. Alting i disse mængder vil være farligt, hvad enten det er kartofler eller jordbær.

I virkeligheden var hovedbudskabet i den omtalte e-artikel artikel, at man ikke ved ret meget om sundhedsrisikoen ved at spise tang, og at der mangler undersøgelser på området. Så der var altså tale om

en slags advarsel ”for en sikkerheds skyld”. Afsenderne burde have forudset, at med den skrøbelige viden, folk har om tang som fødevarer, ville mange nu opfatte al tang som giftigt. At dette er tilfældet, er jeg blevet bekræftet i ved de mange foredrag om tang, jeg har holdt efterfølgende.

Desuden har pressemeddelelsen haft den konsekvens, at Arla har indstillet arbejdet med et lovende nyt osteprodukt med søl, og en dansk primærproducent er holdt op med at sælge søl. Producenterne er af god grund bange for forbrugernes reaktioner, og udviklingspotentialet for en sund fødevarer forbliver nu uudnyttet.

Udvis forsigtighed

En medvirkende faktor til, at man måske hyppigere end tidligere ser hurtige og bastante udmeldinger fra forskere i pressen, er muligvis det pres, der ligger på publicering og medieopmærksomhed i forbindelse med kampen om forskningsressourcer. Men manglen på omhu i kommunikationen er til skade for både samfund og for forskersamfundet selv.

Skaden for forskersamfundet er normalt begrænset, idet der er velfungerende interne mekanismer, som regulerer og korrigerer dette ret effektivt. Forskere, som laver dårlig forskning eller udtaler sig på løst eller fejlbehæftet grundlag, får færre citationer eller indbydelser til videnskabelige konferencer.

Skaden for samfundet kan imidlertid være betydelig: Det er meget vanskeligt eller umuligt at rette op ved at korrigere fejlbehæftet information. Enten vil medierne ikke bringe den korrekte information (”det er jo ingen dramatisk nyhed” eller ”forskerne er jo alligevel altid uenige”) eller folk vil bare ikke høre (”mon ikke der alligevel er noget om snakken?”). Alle kender vel den sejlivede skrøne, vi hørte som børn, at man ikke skal bade efter et måltid. Den får vi vist aldrig manet i jorden, selvom videnskaben har vist, at den er forkert.

Nu er der fare for, at vi i mange år frem skal kæmpe med en tilsvarende myte om, at det er farligt at spise tang. ■

Videre læsning:

Jyllands-Posten har d. 28/4/13 bragt artikler om sagen: *Forskere kritiserer advarsler mod fødevarer Søl – sund lækkerbisen eller giftig tangart?* E-artikel fra DTU Fødevarerinstitutionen, nr. 4, 2011: *Tang kan indeholde sundhedsskadelige stoffer.*

Indhold

FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
Jagten på den perfekte vejr udsigt	6
Vejrudsigten: nu med bakterier	10
Kvantecomputerspil.....	17
Magnetisk køling – køleteknologi med en varm fremtid. . .	18
Som at være der selv.....	22
Intelligente materialer som kunstige muskler og energi-høstere.....	26
Havets dufte.....	30
Systemøkologi – en ny økologisk disciplin	34
Kønsforvirring.....	38

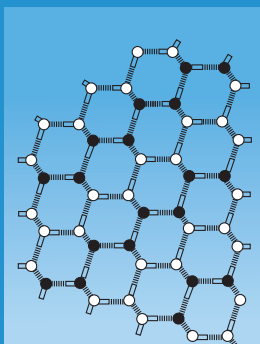
PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: Forskere udtaler.....	2
Gensplejsede planter har kæmpe potentiale	44
Boganmeldelser: <i>Slip din viden løs</i> samt <i>Matematiske mysterier</i>	48
Service	50
Bagsiden: Som vinden blæser.....	52

10

Vejrudsigten: Nu med bakterier

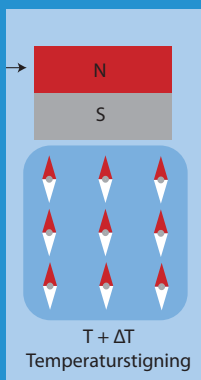
Atmosfæren er fyldt med bakterier, der er blæst derop fra jordoverfladen – fx fra overfladen af blade på planter og træer. Nogle af disse bakterier har evnen til at hæve frysepunktet for vand, og derfor kan de spille en væsentlig rolle i klimasystemet, når de befinder sig i atmosfæren.



18

Magnetisk køling

En stor del af verdens elektricitetsforbrug anvendes til køling. Der er derfor stort fokus på at nedbringe energiforbruget af køleskabe. Magnetisk køling, der udnytter, at visse materialer skifter temperatur, når de kommer ind i et magnetfelt, er et lovende og energieffektivt alternativ til den traditionelle køleteknologi.



30

Havets dufte

Havets mindste beboere – bakterier, planteplankton og dyreplankton – orienterer sig i et kemisk landskab af dufte. Alle udskiller de kemiske stoffer, som bruges til at finde mad, sexpartnere eller til at undgå fjender. Forskere arbejder på at tyde mikroorganismernes kemiske sprog og sanseverden.t.



Varmere og mere ekstremt klima i Grønland

Et nyt videnskabeligt studie om temperaturforholdene i Grønland viser, at det seneste årti (2001–2010) var det varmeste, der er målt og ligeledes det årti med flest ekstreme varme temperaturhændelser siden 1890.

Det er Sebastian H. Mernild fra Center for Scientific Studies, Chile, i samarbejde med forskere fra England, Danmark, og Norge, der står bag det nye studie, der snart bliver publiceret i tidsskriftet *International Journal of Climatology*. Undersøgelsen er baseret på temperaturobservationer siden 1890 fra 14 klimastationer, der alle er beliggende i de kystnære områder rundt om indlandsisen. Disse data viser, at forekomsten af temperaturekstremere i Grønland i perioden 2001–2010 er cirka 50 % højere end for den tidligere varmeperiode i 1930'erne og 1940'erne, som var perioden med næstflest varme-ekstremere. Til sammenligning havde årtiet 1891–1900 det højeste antal kuldeekstremere.

Antallet (hyppigheden) af kuldeekstremere er i observationsperioden gennemsnitligt faldet over tid, mens antallet af varmeekestremere er steget. I årene lige efter vulkanudbrud, som fx efter El Chichón (1982) i Mexico og Pinatubo (1991) på Filippinerne blev der observeret en stigning i antallet af kuldeekstremere i Grønland.

Forekomsten af temperaturekstremere synes forskellig mellem Øst- og Vestgrønland, idet forekomsten af kuldeekstremere var mere udbredt i Østgrønland i 1960'erne og 1970'erne end i Vestgrønland og varmeekestremere mere udbredt i midt-1980'erne og frem. Det mest markante

skifte i det grønlandske klima hvad angår ekstremhændelser er altså sket i den østlige del, hvor vejret i høj grad synes at være domineret af forholdene omkring den nordlige del af Atlanterhavsregionen. Derimod er der ikke i samme grad sket tilsvarende klimaændringer i den vestlige del af øen, hvis vejr synes at være domineret af det nordamerikanske kontinent.

Sebastian H. Mernild, Foto: Sebastian H. Mernild



Smeltevandsskud fra gletscher i Grønland.

En dræber kigges i kortene

Forskere har kortlagt genomet for den svampeparasit, der i 1840'erne var skyld i "kartoffelpesten", der ødelagde store dele af kartoffelhøsten i Irland og medførte udbredt hungersnød. Det er første gang, at genomet for et historisk plantepatogen er blevet kortlagt.

Kentaro Yoshida fra Sainsbury Laboratory i Norwich, England og kolleger sekventerede DNA fra 11 eksemplarer af 1880-tals *Phytophthora infestans*, som er det videnskabelige navn for kartoffelskimmel, der er den svamp, der var skyld i kartoffelpesten.

Eksemplarerne fik de fra tørrede blade fra 1800-tallet opbevaret i herbarier. Desuden sekventerede de 15 eksemplarer af moderne stammer af kartoffelskimmel. Det viste sig, at den sulfremkaldende stamme var nært beslægtet med en stamme, der stadig er udbredt i verden i dag, og forskerne fore-



Rådne og uspiselige kartofler er resultatet af et angreb af kartoffelskimmel (*Phytophthora infestans*).

slår, at de to stammer evolutionært blev adskilt i begyndelsen af 1800-tallet. De mener også, at "sultstammen" meget vel kan være uddød.

CRK, *eLIFE* <http://dx.doi.org/10.7554/elife.00731> (2013)

Foto: Agricultural Research Service

På vej mod molekylær elektronik

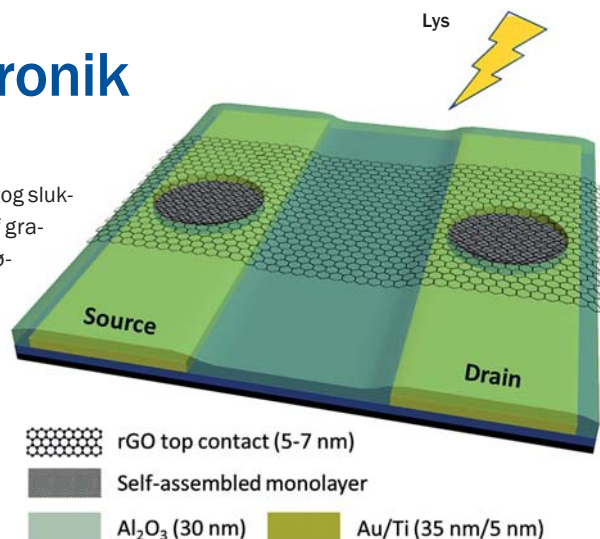
For første gang er det lykkedes forskere at sætte en funktionel transistor bestående af et enkelt lag af atomer ind i en grafenchip. Det er lidt af et gennembrud for såkaldt molekylær elektronik, hvor de elektroniske komponenter bygges op af enkelte molekyler og dermed kan gøres meget mindre end traditionelle komponenter. Det er kemikerne Kasper Nørgaard og Bo Wegge Laursen fra Kemisk Instituts Nano-Science Center ved Københavns Universitet, der har stået i spidsen for projektet sammen med kolleger fra Københavns Universitet og Chinese Academy of Sciences.

Forskernes molekylære computerchip er en sandwich bestående af et tyndt lag guld, et lag med molekylære elektroniske komponenter og et lag af materialet grafen, der består af et enkelt lag af kulstofatomer. Den funktionelle molekylære komponent i chippen er

en transistor, som kan tændes og slukkes ved hjælp af lys. Brugen af grafen i forskernes chip er afgørende for funktionen. Forskerne har brugt en ultratynd film af grafenoxid, der fungerer som en kontakt, idet grafen tillader næsten al lys at slippe igennem.

I første omgang vil den nyudviklede grafenchip kunne bruges til at teste nye molekylære elektroniske komponenter, da chippens design er meget tæt på et rigtigt chipdesign og kan rumme mange forskellige typer molekyler.

Kilde: Pressemeddelelse fra Københavns Universitet samt Advanced Materials.



En ny molekylær chip. Reduceret grafenoxid fungerer som transparent top-elektrode, hvilket gør det muligt at skifte det underliggende molekylære monolag mellem to separate tilstande med forskellig ledningsevne (hhv. høj og lav) vha. lys.

Print et batteri

Forskere ved Harvard University og University of Illinois har ved hjælp af en 3D-printer og specielt formuleret "blæk" med nanopartikler af lithium-metal-oxider printet et batteri på størrelse med et sandkorn. Batteriet består af en sammenflettet stak af elektroder (en stak som anode og en anden stak som katode), der er blevet nøjagtigt printet lag for lag. Udfordringen for forskerne har bl.a. været at udvikle en elektrokemisk aktiv blæk, der kunne komme ud af den hårtøkke dyse i en jævn, sammen-



Elektronmikroskopi-foto af forskernes printede batteri.

hængende strøm (nærmest som tandpasta) og størkne med det samme. Blækket blev lagt ovenpå små kamme af guld, og hele strukturen blev efterfølgende pakket i en lille beholder, der blev fyldt med en elektrolyt. Forskernes målinger viste, at batteriets ydeevne var sammenlignelig med kommercielle batterier. Sådanne mikrobatterier kan tænkes brugt som strømforsyning til mikroapparater inden for fx medicinal- og kommunikationsudstyr.

CRK, Kilde: Advanced Materials, vol. 25, 23. Pressemeddelelse fra Harvard University

Foto credit: Ke Sun, Teng-Sing Wei, Jennifer Lewis, Shen J. Dillon

Vand er ikke et geologisk smøremiddel

Laboratorieforsøg gennem de seneste tiår har peget på, at vand kan spille en væsentlig rolle som "smøremiddel" i forbindelse med de store tektoniske pladers bevægelser. Disse deformationsforsøg har vist, at tilstedeværelsen af vand i høj grad svækker den mekaniske styrke af mineralet olivin – $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ – som er en nøglekomponent i Jordens øvre kappe, hvor pladebevægelserne har deres rod. Dugfriske resultater af forskere ved Bayerisches Geoinstitut in Bayreuth (Tyskland) sætter dog

nu spørgsmålstegn ved denne teori. Forskerne har i modsætning til tidligere forsøg, hvor man har studeret aggregater af mineralet, brugt en metode, hvor de kunne studere vands betydning i en enkelt krystal af olivin på næsten atomar skala. Det afslørede, at vand havde en meget mindre effekt på olivins mekaniske styrke end tidligere antaget. De nye observationer kræver dermed et kritisk syn på ideen om vands betydning som smøremiddel i det store pladetektoniske maskineri, mener forskerne.

Eksempel på et stykke af mineralet olivin.



CRK, Kilde: Nature, 498, 213–215

Foto: S Kitahashi

Jagten på den perfekte vej

Kunsten at formidle usikkerheden ved vejrudsigt er en balancegang – især når vejruviklingen har potentiale for skybrud.

Forfatter



Jesper Eriksen er meteorolog ved DMI.

je@dm.dk

Siden internettets indførelse er mængden af tilgængelig vejrinformation for den almene befolkning eksploderet, og da vejrmodellerne er blevet markant bedre inden for de senere år, er det meste af informationen af rimelig høj kvalitet. Fællestrækket for alle typer vejrinformation er dog, at deres kvalitet afhænger af, hvilken vejrparameter man kigger på, samt af den generelle vejr-situation. Dette giver en række udfordringer formidlingsmæssigt

Det perfekte vejrprodukt set fra brugerens perspektiv

Fra et formidlingsmæssigt synspunkt vil det optimale være at fortælle, hvordan vejret vil arte sig time for time lige der, hvor brugeren er. Dette er teknisk muligt ved at lave en grafisk fremstilling af en vejrmodels løsning af forskellige vejrparametre for et bestemt gitterpunkt. Sådanne produkter findes allerede flere steder på nettet. DMI's udgave kaldes for byvejr. Byvejr er de første 48 timer baseret på DMI's egen vejrmodel *HIRLAM*, som i sin højeste opløsning pt. har 3 km's afstand mellem gitterpunkterne. Herefter tager den fælles-europæiske vejrmodel ECMWF over.

Fra et brugerperspektiv skal et produkt som byvejr være fremstillet på en pædagogisk måde, der gør det hurtigt og let at afkode, men samtidigt skal produktet også indikere et evt. usikkerhedsmoment i vejruviklingen i det enkelte gitterpunkt. Det sidstnævnte er nok det vanskeligste at fremstille på en forståelig og anvendelig måde for brugeren. I visse vejr-situationer, som fx en sommerdag med fuld solskin, er byvejr tæt på perfekt eller med små fejl, der ikke har så stor betydning for brugeren. I andre situationer, fx når en front med regn skal passere landet, kan der indsnige sig nogle større usikkerhedsmomenter, men byvejret vil stadig med succes kunne bruges som en god vejledning til den overordnede tendens i vejruviklingen.

Derfor er det faktisk kun i relativt sjældne tilfælde, at produktet risikerer at være misvisende for brugeren, f.eks. på en dag med kraftige regn- og torden-

byger. I en sådan vejr-situation kan et produkt som byvejr risikere at give et forkert indtryk af nedbørsmængderne, hvor præcision på gitterpunktniveau ikke er mulig. Dette har man på dm.dk og nu også på norske yr.no forsøgt at omgå ved at give brugeren mulighed for at se usikkerheden på nedbøren. I byvejr er det værdierne fra vejrmodellen *HIRLAM's ensembler* (små variationer i modelkørslerne) i det enkelte gitterpunkt, der giver denne usikkerhedsvurdering.

Kigger man kun på ensamlernes risiko for skybrud i et bestemt gitterpunkt, kan man blive misledt, da risikoen for skybrud i modelverdenen kan være markant anderledes i et andet gitterpunkt lige i nærheden. Og denne forskel kunne måske være en form for "tilfældighed".

Desto større skala, desto større forudsigelighed

Fra et vejrmodelleringsperspektiv gælder, at jo større skala vejr-fænomenet optræder på, jo bedre er forudsigeligheden.

Ser man bort fra topografiske effekter, vil middelvinden (som dog er en arealmidlet vind og ikke den lokale vind dér, hvor brugeren står) være godt forudsagt, hvis vejrmodellen har godt fat i styrken og placeringen af høj- og lavtryk, samt fronterne. Disse har en rimelig stor skala (se figur), så vinden kan i de fleste situationer forventes at være ret godt forudsagt i de første dage af en vejrudsigt.

Tilsvarende kan man forvente, at frontpassager er ret godt forudsagt de første dage, dog med en usikkerhed i den præcise tidsfæstelse af passagen. Nedbørssystemerne i forbindelse med fronter udgør dog kun en delmængde af selve frontens udstrækning, og placeres på det man i meteorologi kalder mesoskala. Endvidere vil der oftest være stor variation i selve nedbørsmængderne i nedbørssystemet på meget mindre skala, og nogle gange optræder nedbøren isoleret i byer langt væk fra fronterne. Dette gør nedbøren væsentlig vanskelig-

Om DMI-HIRLAM

Grundlaget for de daglige vejrudsigt og en række andre udsigt og varsler er vejrprognose-systemet DMI-HIRLAM. HIRLAM står for "High Resolution Limited Area Model". Se mere på www.dmi.dk/laer-om/temaer/meteorologi/

Læs mere om DMI's ensembler i tidsskriftet *Vejret* 129

udsigt

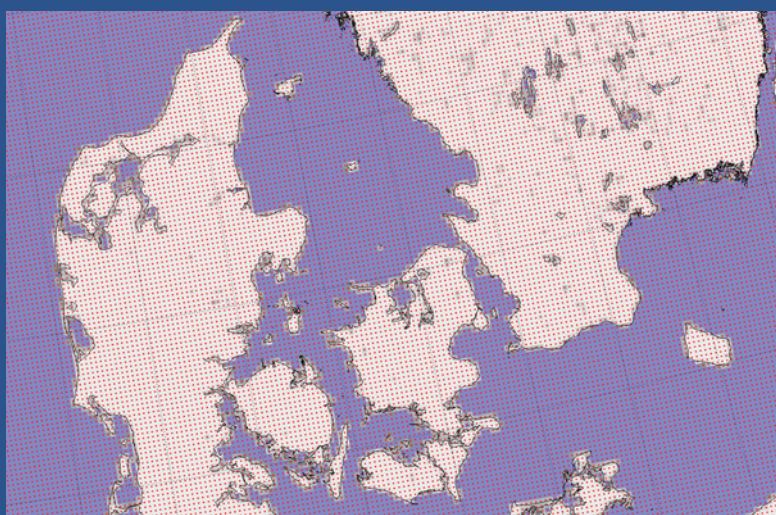
gere at forudsige end vinden, især hvis den optræder i bygeform.

Skybrud og sultne journalister

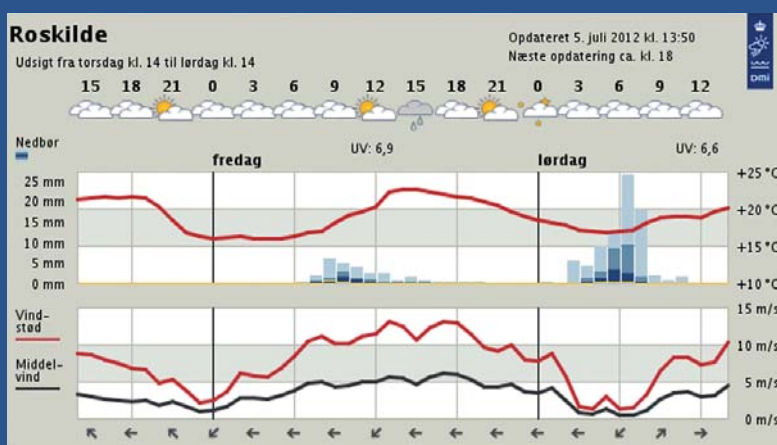
Skybrud er den kraftigste form for byger, vi har herhjemme, men de rammer ekstremt lokalt. Fra et modelleringssynspunkt kan man sammenligne udfordringen i at skulle forudsige skybrud i et enkelt gitterpunkt med det at skulle forudsige, hvor og hvornår den næste luftboble rammer i en gryde med kogende vand. Her skal man også have styr på luftboblens form og den hastighed, den stiger med. Denne analogi er god at have i baghovedet, når man evaluerer en vejrmødelers brugbarhed i en skybrudssituation. Det er ikke nogen nem opgave.

Noget af det vanskeligste ved at være meteorolog er, at der sagtens kan være et kæmpe potentiale til en voldsom vejruvikling, men at der kan være stor uenighed blandt modellerne om, hvorvidt dette potentiale bliver udløst eller ej. Dette giver et formlingsmæssigt dilemma. Skal man fokusere på *worst case* med voldsomt vejr til følge, selvom det måske ikke er det mest sandsynlige scenarie? Eller skal man have is i maven og kun fokusere på det mest sandsynlige? Det bedste vil nok være en mellemting, altså at give det mest sandsynlige scenario, men at pointere, at der er en lille risiko for, at vejruudsigten kan opgraderes til en voldsom vejrhændelse. Her skal man dog også huske på at fokusere på den geografiske udbredelse af det voldsomme vejr. Hvad fx skybrud angår, vil det jo oftest kun være under 1 % af befolkningen, der kommer til at opleve det, med mindre det rammer en storby. Dette giver endnu et dilemma: Skal man holde fokus på det vejr, de fleste kommer til at opleve, eller fokusere på det voldsomme vejr, der kun rammer de få?

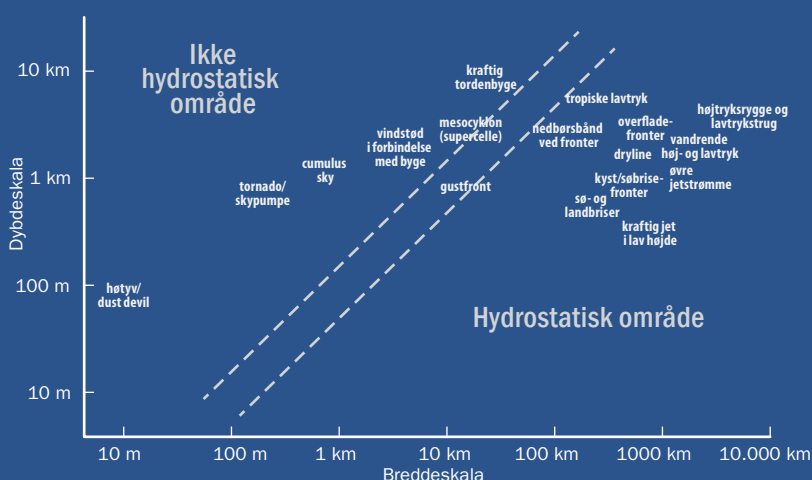
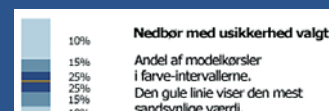
Hvad angår skybrud kan man sammenligne atmosfærens potentiale med en våd karklud. Desto vådere karkluden er, desto mere vand kan der vrides ud af den, og jo hårdere man vrider karkluden, jo hurtigere kommer vandet ud af den. I meteoro-



Gitterpunkter i området omkring Danmark i DMI HIRLAM i udgaven med den pt. højeste opløsning. Afstanden mellem hvert gitterpunkt er 3 km.



DMI's byvejr for Roskilde udgivet torsdag den 5. juli kl. 13.58, med parameteren "vis usikkerhed på nedbør" tilvalgt. Den mulige nedbør er vist ved hjælp af søjlediagrammer.



I denne figur opdeles forskellige vejrfænomener efter deres vertikale udstrækning på y-aksen og den horisontale på x-aksen.

Kilde: H. B. Bluestein. Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes: Principles of Kinematics and Dynamics, Vol. 1, p. 5.

kompetencer, samt have et godt tværfagligt og konstruktivt samarbejde med modelfolkene, der arbejder på at forbedre vejrmødelserne. Ellers kunne man efter min mening lige så godt lave et fuldautomatisk varslingsystem til danskerne.

Hvad angår prognoser, der går 48 timer frem, vil nok alle være enige om potentialet i vejr-situationen (læs: at atmosfæren er meget fugtig), men der ses oftest stor uenighed om, hvorvidt og hvor dette potentiale evt. vil udløses. I løbet af et døgn kan en meteorolog, hvis man tæller ensemblerne med, have adgang til omkring 100 forskellige bud på forløbet. Dette kan ligefrem give et flaskehalsproblem, hvis meteorologen får serveret langt flere prognoser, end han/hun er i stand til at overskue. De mange prognoser er dog et værdifuldt værktøj til usikkerhedsvurdering, da der måske kan spottes en tendens. For eksempel kunne man tænke sig, at en ny hovedkørsel efter et kig på ensemblerne kan tolkes som en usandsynlig, men fysisk mulig løsning.

Den bedste vejrsigt

Ved varsling af farligt vejr som fx skybrud vil det typisk være optimalt at holde sig til den løsning, som ensemblerne angiver som den mest sandsyn-

lige. Undertiden vil ekstreme skybrud ramme et sårbart område. Det bør ikke have indflydelse på antallet af varsler i den nærmeste fremtid.

Brugernes ønskescenarie er en vejrsigt, der giver dem en korrekt beskrivelse af vejret time for time lige der, hvor de befinder sig. Grafisk set eksisterer sådanne produkter allerede i mange forskellige udgaver på internettet, men meteorologisk set vil der være vejr-situationer, hvor det er meget vanskeligt at beskrive det helt lokale vejr, selv inden for en relativt kort tidsramme. Hvornår disse vanskelige vejr-situationer indtræffer, kan kommunikeres ud til brugerne ved hjælp af et ensemble af prognoser, der kan bibringe brugerne et indtryk af usikkerhedsmomenterne i vejrsigten.

En meteorolog kender denne grad af usikkerhed i vejrsigten på de forskellige vejrparametre, temperatur, skydække, nedbør osv., og har desuden gode kompetencer inden for formidling. Men meteorologen har ikke ressourcerne/tiden til at gå i detaljer med og videreformidle denne usikkerhed helt lokalt til over 5 millioner danskere. Derfor fortsætter jagten på meteorologiens hellige gral, den perfekte vejrsigt, et godt stykke ud i fremtiden. ■



Figur C: De målte 3 timers akkumulerede nedbørsmængder i tidsrummet 05 til 08 dansk tid den 29. juni 2012.

uden for de officielle målestationer. Nedbøren i Askov kom så hurtigt, at der var tale om skybrud.

I løbet af morgen- og formiddagstimerne ramte byerne primært den centrale del af landet. Figur D viser den samlede nedbørsmængde i tidsrummet 08 til 11. Svendborg fik mest med 45 mm, og der var øjenvindnebetninger om uvejr på de kanter. Ved den officielle DMI målestation Årslev på Midtfyn, kom nedbøren så hurtigt, at der var tale om skybrud.



Figur D: De målte 3 timers akkumulerede nedbørsmængder i tidsrummet 08 til 11 dansk tid den 29. juni 2012.

Bemærk, at dele af Fyn slap med under 10 mm. Dette illustrerer, hvorfor det er svært at forudsige lokale nedbørsmængder i bygesituationer.

Før en meteorolog kan følge nedbøren på radaren, er det eneste værktøj til at forudsige disse komplekse nedbørsmængder prognoserne. Og det ofte en rigtig god ide at følge udviklingen i flere prognoser på en gang ligesom personlig erfaring er godt at kunne trække på som meteorolog.

Vejrudsigten: nu med

Atmosfæren er fyldt med bakterier, der er blæst derop fra jordoverfladen – fx fra overfladen af blade på planter og træer. Nogle af disse bakterier har evnen til at hæve frysepunktet for vand, og derfor kan de spille en væsentlig rolle i klimasystemet, når de befinder sig i atmosfæren.

Vi snakker alle om vejret og følger med stor interesse vejrmeldingerne på TV og nettet. Vi forbinder vejrets grundlæggende mekanismer med fysikkens love, og når vi beundrer vejrsystemernes gøren og laden på skærmen, tænker vi næppe på, at mikroorganismer kan spille en vigtig rolle i dannelsen af så forskellige fænomener som regndråber, snefnug, hagl og skyer som sådan. Ja – de færreste er formentlig klar over, at der i det hele taget findes store mængder levedygtige bakterieceller i luften, og at de indgår i atmosfærens kemiske og fysiske processer.

Mikroorganismernes tilstedeværelse i atmosfæren blev første gang påvist i midten af det 19. århundrede bl.a. af den franske mikrobiolog Louis Pasteur, men er først blevet mere systematisk undersøgt siden 1920'erne. På det tidspunkt betragtede man dog atmosfæren kun som et medium, der giver mikroorganismene mulighed for passivt at sprede sig fra et sted til et andet. Først i de seneste 20 år er man begyndt at studere bakterier i atmosfæren med henblik på at undersøge deres rolle i atmosfærens dynamiske processer.

Bakterier i luften - hvor kommer de fra?

Bakterier i luften kan komme fra flere kilder, fx fra os selv. Vi udskiller således en masse små vanddråber, når vi hoster eller nyser – vanddråber, som indeholder både bakterier og virus. På denne måde kan luftbårne sygdomme som influenza eller tuberkulose spredes meget effektivt.

Langt størsteparten af bakterier i luften er dog ufarlige for os og kommer fra planteoverflader og jord. Ifølge et groft skøn frigives der globalt mindst 10^{16} bakterieceller per sekund til atmosfæren. Langt de fleste bakterier kommer fra landjorden. Det vil sige, at der sker en betydelig podning af den omgivende luft med nye celler hele tiden.

Ikke alle celler har det lige godt med at blive flyttet fra land til luft og går hurtig til grunde. I atmosfæren møder de nemlig en række livstruende udfor-

dringer som udtørring og UV-stråling, og kun de celler, som i forvejen er tilpasset til at kunne modstå disse stressfaktorer, overlever og er dermed med til aktivt at påvirke processer i atmosfæren.

Robuste bakterier

Forskere har vist, at bakterier, som lever på planteoverflader, hvor de naturligt er udsat for udtørring og stråling, er særdeles overlevelsesdygtige. Undersøger man således antallet og fordelingen af levedygtige bakterier i atmosfæren, dominerer oftest mikroorganismer, som også findes på planternes blade.

Disse bakterieceller indeholder i mange tilfælde farvestoffer kaldet karotinoider, som man også finder i gulerødder. Karotinoider beskytter cellen mod UV-lysets skadevirkninger ved at reagere med reaktive iltforbindelser, som dannes, når UV-lyset spalter vandmolekyler i cellen. Desuden er cellerne også modstandsdygtige mod udtørring bl.a. ved at danne cyster. Cyster har fortykkede cellevægge, hvilket reducerer tabet af vand.

Man har også kunnet vise, at disse bakterier er i stand til at udnytte en række af de næringsstoffer, der findes i vanddråber i atmosfæren. Mange af disse næringsstoffer stammer fra planter, og dette i sig selv kan være en årsag til, at bakterier fra planteoverflader trives særdeles godt i atmosfæren.

Dermed har mikrobiologer kunnet vise, at bakterieceller ikke kun spredes i en dvaletilstand, men at bakterier i atmosfæren kan være aktive, formere sig og samtidig påvirker den kemiske sammensætning af luften. Disse forsøg er dog hidtil kun blevet gennemført i laboratoriet, og man mangler derfor at vise, at det også sker i naturen.

Bakterier kan hæve vands frysetemperatur

Men hvad betyder bakteriernes tilstedeværelse så for de fysiske processer i atmosfæren såsom dannelse af skyer og nedbør?

bakterier

Hovedparten af den globale nedbør er knyttet til dannelsen af iskrystaller, som udgør den matrix, hvorpå regndråber kan kondensere. Hvis man tager meget rent vand og køler det langsomt ned, vil det først fryse, når temperaturen nærmer sig -40°C .

Når man ser på den del af atmosfæren, hvor vandet kondenserer og skyerne dannes, er temperaturen ofte ikke lav nok til, at rent vand kan fryse. Men hvis der tilføres forureninger i form af fx små partikler (aerosoler) eller kemiske forbindelser, øges frysetemperaturen. Disse forureninger har dermed en fremmende effekt på dråbe- og skydannelse.

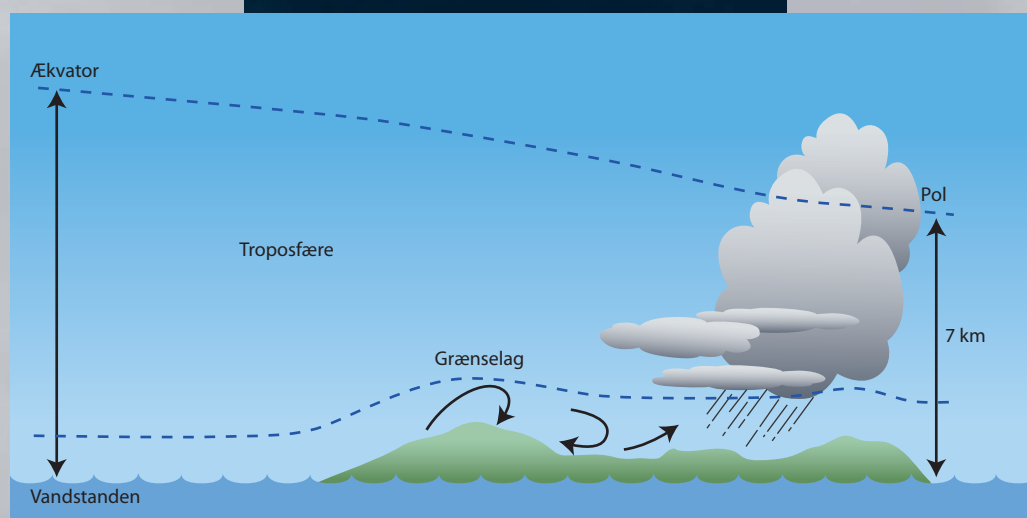
Bakteriers indflydelse på atmosfæreprocesser

Figuren viser de dele af atmosfæren, som har størst betydning for bakteriernes indflydelse på atmosfæreprocesser og cellernes udbredelse, nemlig grænselaget og troposfæren.

Grænselaget er den del af atmosfæren, som bakterierne skal overvinde for at komme ind i troposfæren. Så længe de befinder sig i grænselaget er sandsynligheden for, at de falder tilbage til jorden høj, og opholdstiderne dermed meget kort (sekunder til timer). I grænselaget har celler kun meget lidt indflydelse på atmosfæreprocesser, hvis overhovedet.

For at kunne bryde igennem grænselaget skal cellerne transporteres af kraftige, opadgående luftstrømme. Troposfæren er det lag af atmosfæren, hvor vejret udspiller sig. Her findes langt størsteparten af atmosfærens vand enten som vanddamp eller kondenseret som skyer eller tåge. Troposfærens tykkelse er størst ved ækvator (18 km) og mindst ved polerne (7 km). Over Danmark ender den i ca. 12 km's højde. Temperaturen falder med ca. $6,5^{\circ}\text{C}$ pr. km.

På grund af den relativt høje temperatur igennem det meste af troposfæren vil rent vand kun fryse i den øverste del. Her kommer biologiske og ikke biologiske aerosoler på banen, som øger den temperatur hvorved vandet fryser og iskrystaller og dermed nedbør dannes.



Forfattere



Kai Finster,
lektor
Institut for
Bioscience
og Stellar Astrophysics
Centre, Institut for Fysik
og Astronomi, Aarhus
Universitet,
kai.finster@biology.au.dk



Tina Sântl Temkiv,
postdoc,
Stellar Astrophysics
Centre, Institut
for Fysik og Astronomi,
Aarhus Universitet,
temkiv@phys.au.dk



Ulrich Gosewinkel Karlson,
seniorforsker,
Institut for
Miljøvidenskab, Aarhus
Universitet,
uka@dmu.dk

Studier af bakterier indsamlet fra atmosfæren har vist, at nogle bakterier har den samme effekt på vandets frysetemperatur som støv og kemiske forbindelser. Til forskernes store overraskelse er nogle bakteriestammer mere effektive til at øge vandets frysetemperatur end støv og kemikalier. Vore egne studier har vist, at bakterier, som vi har isoleret fra regnvand, kan udløse frysning ved kun 4-5 minusgrader. Især én bakterietype med det poetiske navn *Pseudomonas syringae* (eller *P. syringae* blandt venner), har vakt særlig opmærksomhed. *P. syringae* er blevet rendyrket fra bladoverflader, hvor den lever som plante patogen.

Bakterien er skyld i fryseskader på bladene eller frugterne, idet den producerer et protein, som fremmer frysning af vand (se faktaboks). Når iskrystallerne dannes, ødelægges plantecellens cellevæg og membran, og cellens indhold bliver tilgængeligt for bakterierne, som kan spise det frigivne materiale og formere sig. Disse fryse-fremmende proteiner er forankret på cellens yderside, og de har en opbygning, som ligner strukturen af iskrystaller. På denne måde hjælper de vandmolekylerne til at placere sig i forhold til hinanden på en måde, som nedsætter deres bevægelser og dermed fremmer dannelsen af iskrystaller ved en højere temperatur.

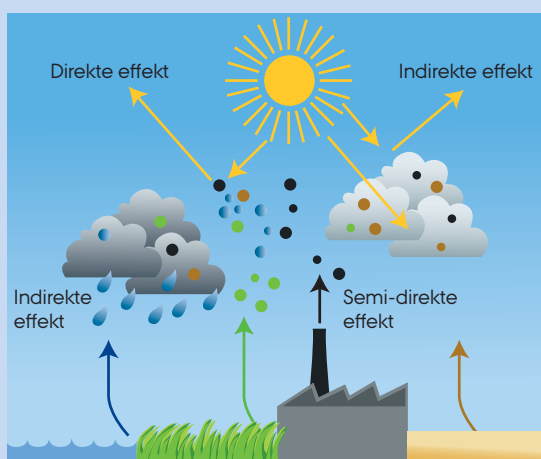
Mange bakterier med frysefremmende effekt

Det er indlysende, at dannelsen af is på plantecellerne, er en fordel for bakterierne, da det som

beskrevet ovenfor, giver *P. syringae* adgang til næringsstoffer. Spørgsmålet er nu, om evnen til at kunne fremme iskrystaldannelse også er en fordel, når cellen befinder sig i atmosfæren? En effekt af is- og dermed vanddråbedannelse er, at cellen ved at blive en del af vanddråben hurtigere kan vende tilbage til jordoverfladen, hvor cellen kan kolonisere nye planteoverflader.

Forskere har kunnet vise, at selv små dele af *P. syringae*-cellernes cellemembran, de såkaldte membranvesikler, kan fremme iskrystaldannelse. Bakterierne danner disse vesikler aktivt og afgiver dem til omgivelserne – ikke kun, når cellen går til grunde og membranen ødelægges, men i lige så høj grad, når bakterien er aktiv uden at dele sig. Vesiklerne fremmer således isdannelsen og forstærker cellens bidrag til beskadigelse af plantecellerne, uden at der kommer nye celler til. Dette kan være en fordel for cellen, når mængden af næring er begrænset. Produktionen af vesikler er nemlig knap så ressourcekrævende som dannelsen af nye celler.

I atmosfæren kan frigivelsen af vesikler have en ganske betydelig kvantitativ indflydelse på dråbe- og nedbørdannelse, da det kan mangfoldiggøre den enkelte celledrag til isdannelse. Vi mangler dog på nuværende tidspunkt metoder til at kunne opsamle membranvesiklerne og kvantificere deres betydning på global skala. Desuden mangler vi den ganske grundlæggende forståelse af, hvor mange iskrystaller hver enkel celle eller membranvesikel bidrager med.



Aerosoler

Aerosoler kan defineres som faste eller flydende stoffer, som er opløst i en gasart. Dette kan lyde lidt mærkeligt, da vi i dagligsproget forbinder opløsninger med en væske. De partikler, som der her er tale om, er meget små, dvs. under 1 µm i diameter, og det kan fx være sodpartikler, som stammer fra ufuldstændig forbrænding af benzin, olie eller diesel, eller det

kan være smådråber af vand, som slynges op i luften, når bølgerne brydes på klipper, eller det kan være støvpartikler, som hvirvles op under kornhøst eller støvstorme.

Aerosoler kan også være større – op til 50 µm i diameter – og dermed omfatte bakterier, svampesporer og alger. Udover at virke som fortætningskerner for dannelsen af vanddråber, kan bakterieceller ændre den kemiske sammensætning af de opløste organiske og uorganiske stoffer og dermed påvirke deres effekt på dråbedannelse. Således spiller aerosoler, både som opløst eller partikulært organisk og uorganisk stof eller som levende eller døde celler en vigtig rolle ved dannelsen af skyer, idet de virker som fortætningskerner, hvor vanddamp i atmosfæren kan samles og vanddråber dannes. Som del af vanddråber fjernes aerosolerne igen fra atmosfæren. Aerosolerne kan påvirke atmosfæreprocesserne på forskellige måder. De kan fx dæmpe solindstrålingen ved at absorbere eller tilbagekaste sollys.

Figuren viser, at aerosoler kan komme fra forskellige kilder og have både direkte effekt på klimaet (ved at reflektere solindstråling) og indirekte effekt (ved fx at øge skydannelsen).

De seneste års forskning har vist, at en lang række bakterier udover *P. syringae* råder over gener, som koder for fryse-fremmede proteiner, og at disse proteiner også er til stede på overfladen af bakterierne, når de bliver indsamlet fra atmosfæren. Derfor er flere forskergrupper – inklusive vores – nu gået i gang med at studere, hvilken effekt disse celler kan have på skydannelse og dermed på nedbør.

Studier i laboratoriet

Bakterier opholder sig kun i atmosfæren i en begrænset tid og flyttes hurtigt rundt af vind og nedbør. Når man tager denne dynamik i betragtning, kan det være svært at forestille sig, hvordan man kan undersøge atmosfærefænomener under mere kontrollerede og reproducerbare forhold. Det kræver både instrumenter, der tillader forstøvningen af bakterier til atmosfæren som veldefinerede aerosoler, og derudover et kammer, hvor de ønskede atmosfæreforhold kan reproducere.

For at kunne opnå det har vi indgået et samarbejde med forsker ved Lunds Universitet i Sverige og Leibniz-instituttet for troposfæreforskning i Leipzig i Tyskland.

I Lund er forskere i gang med at udviklet et instrument, som producerer passende bakterieaerosoler, der kan sprøjtes ind i kammer, som står i Leipzig. I løbet af det næste år vil vi være i stand at undersøge under hvilke forhold og ved hvilke doser, bakteriekulturer fremmer is- og dermed skydannelsen. Undersøgelserne vil både bidrage til en bedre for-

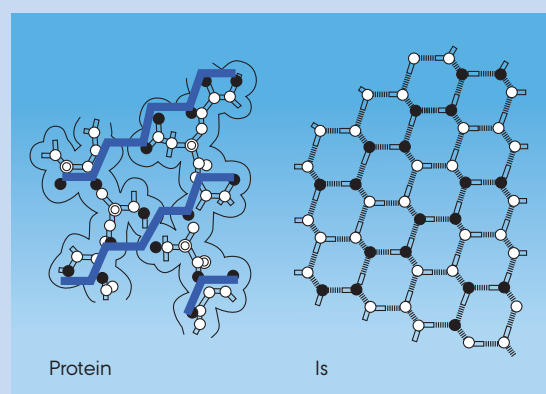
ståelse af bakteriernes rolle i atmosfæreprocesser, og kunne føre til udvikling af produkter, som kan bruges til at manipulere atmosfæren.

I dag anvender man således celler af *P. syringae* komercielt ved produktion af kunstsne, hvor man tilsætter tørrede, døde celler til vand i snekanonerne. På denne måde kan man producere kunstsne ved højere temperaturer end ellers og derved spare energi.

Udover på skipisterne forsøger man også at anvende *P. syringae* til at danne kunstige skyer og dermed regn. Det kan være ønskeligt, når atmosfæren indeholder mange forurenende stoffer, og den kunstige regn kan bruges til at rense luften. I dag bruger man mest sølviodid til dette formål, men bakterievesikler kunne være et alternativ, da disse modsat sølviodid er biologisk nedbrydelige.

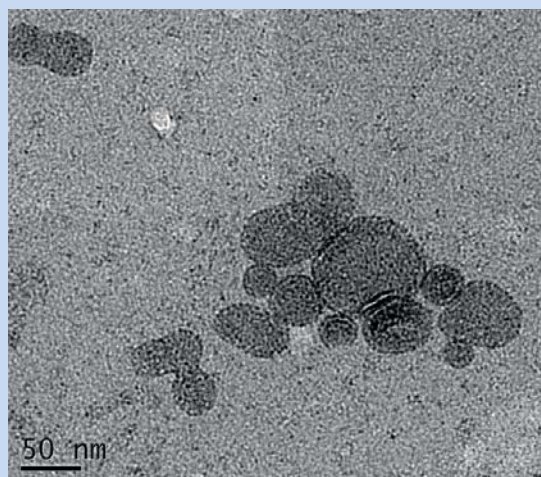
Ud i rummet

Udover de mulige jordnære anvendelser af bakterier i atmosfæren, kan vores viden om bakterierne og de processer, de er involveret i, hjælpe i jagten på mulige spor af liv på andre planeter i Universet. Vi er således involveret i grundforskningscenteret Stellar Astrophysics Centre ved Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet, hvor vi netop undersøger muligheden for at kunne påvise tilstedeværelsen af liv på planeter udenfor vores solsystem ved først at identificere og senere kvantificere biologiske spor i planeterne atmosfæres. Her skal vi undersøge de effekter, bakterier har på atmosfæreprocesser. Det gælder såvel intakte levende og



In-protein

IN-proteiner er opbygget af gentagne sekvensmotiver. Typisk består et motiv af 48 aminosyrer, som kan inddeles i 3 blokke af 16 aminosyrer, hvoraf de første 8 er identiske. Sandsynligvis sørger disse gentagelser for, at vandmolekyler orienteres på en måde, som ligner orienteringen i en iskrystal. Ved at orientere vandmolekylerne fremmer IN-proteiner frysningen af vand ved højere temperaturer end hvis de ikke er til stede.



Vesikler

Små kugleformede strukturer, de såkaldte membranvesikler, er blevet afsnøret fra en celle under vækst og består af en del af cellens membran samt noget cellevæske. I membranen kan der sidde proteiner, bl.a. IN-proteinerne, som ved høje temperaturer fremmer dannelsen af iskrystaller.

KONKURRENCE FOR GYMNASIEELEVLER:

Danmarks
Tekniske Universitet



OLIEJAGTEN GÅR IND



Deltag i **PetroChallenge 2013** - en international online konkurrence for gymnasieelever, hvor det gælder om at finde olie i undergrunden ved hjælp af et simuleringsprogram og derefter lægge den bedste strategi for at udnytte olien.

Der er pengepræmier og en rejse til finalen i London på højkant.

TID OG STED

PetroChallenge 2013 afholdes online over to dage med en øvedag onsdag den 30. oktober og den egentlige konkurrencedag torsdag den 31.

oktober - begge dage hjemme på gymnasiet. Alle gymnasieklasser deltager gratis i PetroChallenge, og inviteres efterfølgende til uddannelses- og oliedag fredag den 22. november på DTU.

TILMELDINGSFRIST

Frist for tilmelding til PetroChallenge og gratis endagskursus for lærere, hvor olieuniverset og konkurrencen bliver introduceret, den 30. august 2013.

Læs mere på **www.oliejagten.dk**

døde bakterieceller, samt membranvesikler og frysefremmede proteiner som sådan. Vi vil sammenholde effekter, som skyldes biologisk materiale med effekter, der stammer fra ikke-biologisk materiale. Hvis vi kan identificere signifikante forskelle mellem disse to kilder til dannelsen af is og skyer, vil vi kunne anvende vores forståelse af processer i Jordens atmosfære til at fortolke data, som stammer fra observationer af exoplaneternes atmosfære.

I den bedste af alle verdener vil bakterierne i atmosfæren åbne et vindue, hvorigennem vi vil kunne se det ekstraterrestriske liv i kortene. ■



Frysebakterien

Pseudomonas syringae (*P. syringae*) er navnet på en cirka 1 µm lang stavformet, bevægelig bakterie. Mange stammer af *P. syringae* er plantepatogene, som angriber alt fra forskellige kornsorter over tomater og tobaksplanter til frugttræer. Indtil videre har man dyrket og identificeret 60 forskellige stammer, som angriber hver deres værtsplante. Modsat bakterier, som kun lever som patogener, og som derfor kaldes obligat patogener, kan *P. syringae* også fint klare sig uden at være sygdomsfremkaldende. Således kan man nemt dyrke dem på næringsrige dyrkningsmedier. Når organismerne kan klare sig både med og uden den vært, de snylter på, kalder man dem for fakultativt patogener.

I naturen kan man observere *P. syringae*'s aktive tilstedeværelse på planter som små sorte misfarvninger på blade- eller frugtoverfladerne efter frost. Disse misfarvninger skyldes, at bakteriecellerne ødelægger plantecellerne for dermed at få adgang til plantecellens næringsstoffer.

Alene i USA beløber frostskafer på planter sig til mere end 1 milliard \$ om året, og en stor del af disse skader skyldes *P. syringae*. Derfor har der været stor interesse for at producere en genmodificeret stamme af *P. syringae*, som mangler genet for proteiner, der fremmer isdannelse. Allerede i 1980'erne lykkedes det amerikanske forskere at fremstille en stamme med de ønskede egenskaber ved hjælp af genteknologiske metoder. I laboratorieforsøg kunne man vise, at den nye genmodificerede stamme kunne udkonkurrere sine is-dannende, naturlige slægtninge. I 1987 skrev denne nye "is-minus stamme" historie, da den som den først GMO-organisme nogensinde blev sluppet løs i naturen. Det var på en testjordbærmærk i Californien, og ligesom i laboratoriet medførte GMO-stammen, at frostskafer på planterne blev reduceret. På grund af protester fra miljøorganisationer kom den genmodificerede stamme, som skulle markedsføres under navnet *Frostban*, dog aldrig i brug som kommercielt produkt.

LACIS – et skyeksperiment

The Leipzig Aerosol Cloud Interaction Simulator (LACIS) er et enestående instrument til at undersøge aerosolernes indflydelse på dannelsen af skyer under meget kontrollerede forhold. Forskerne bag LACIS studerer især de komplekse faseovergange, hvor vandmolekyler vekselvirker med og til sidst binder sig til aerosoloverfladerne. I processen dannes vanddråber. LACIS er bygget således, at alle faktorer, som spiller en rolle ved denne proces, kan varieres uafhængigt af hinanden. Disse faktorer er bl.a. temperatur, tryk, den relative luftfugtighed og sammensætningen og koncentrationer af aerosolerne.



Inde i tårnet findes LACIS' "hjerter": et 10 m langt stålør med en diameter på 1,5 cm. Temperaturen i røret kan varieres mellem +40 og -60° C, og partiklerne maksimale opholdstid er 60 sec. Temperaturen kan kontrolleres med en præcision på 0,05° C. Måleresultater, som opnås i LACIS, fortolkes ved hjælp af den såkaldte "Fine Particle Model", som blev udviklet af den samme forskergruppe, som har bygget instrumentet.

Læs mere

[Http://cloudlab.tropos.de/lacis/lacis_e.html](http://cloudlab.tropos.de/lacis/lacis_e.html)

K.W. Finster, T.S. Temkiv og H. Kjeldsen: Er der liv derude? *Aktuel Naturvidenskab* 6-2012.



AARHUS
UNIVERSITET

Læs til diplom-
eller civilingeniør
ingeniør.au.dk

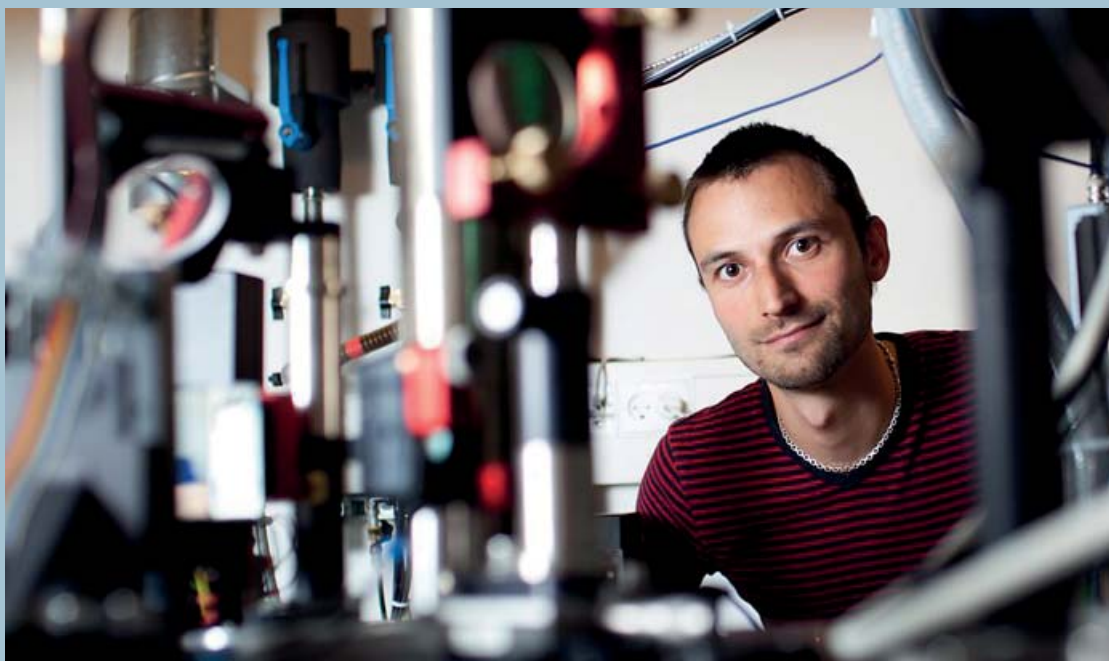
ingen ingeniør ingen sommerferie

En 156 tons jumbojet letter ikke af sig selv, og et 20-etagers hotel vokser ikke op af jorden. Bag de konstruktioner, vi tager for givet, har siddet hundredvis af ingeniører og revet sig i håret.

Ingeniører gør en forskel og udvikler verden. Fra de små bekvemmeligheder til de største innovationer du kan forestille dig.

Du kan også gøre en forskel.

Læs mere på ingeniør.au.dk
Diplom- eller civilingeniør ved Aarhus Universitet.



Fysikeren Jacob Sherson

Kvantecomputerspil

Skulle det gå hen og blive en regnvåd sommer, kan man fordrive tiden med at hjælpe forskere med at udvikle en kvantecomputer. Det er nemlig nu blevet muligt via et computerspil, The Quantum Computer Game, som er udviklet af fysikeren Jacob Sherson fra Aarhus Universitet.

I modsætning til i en almindelig computer, der er baseret på bits, der kan antage værdien 0 eller 1, kan atomer i en kvantecomputer antage værdien 0 og 1 på samme tid, hvilket giver adgang til at udføre mange beregninger på samme tid i stedet for at udføre dem en ad gangen. En kvantecomputer med kun 300 atomer vil således have mere beregningskraft end alle computere i verden.

Udfordringen i at bygge en kvantecomputer er populært sagt, at man skal kunne flytte rundt på enkelte atomer, uden at de "skvulper". I mere teknisk terminologi betyder dette skvulperi, at atomerne befinder sig i flere stationære tilstande samtidig, hvilket er muligt inden for kvantemekanikken. I en kvantecomputer skal atomerne altså afleveres i en bestemt stationær tilstand inden for potentialet, og det er svært!

Spil dig frem til en løsning

For at knække den nød arbejder forskerne med computersimuleringer, men der skal et astronomisk antal simuleringer til. Her kommer computerspillet ind i billedet, da det vil kunne give forskerne løsninger, det ellers ville tage meget lang tid at nå frem

til. Spillet går ud på at flytte et virtuelt atom forbi forskellige forhindringer, uden at atomet "skvulper over", og man får point efter hvor godt det lykkes. Forskerne kan direkte bruge resultaterne af spillernes forsøg i deres arbejde. Spillet registrerer spillernes musebevægelser, og når en spiller får en høj score, kan resultatet indbygges i forskernes kvantecomputer ved at overføre musebevægelserne til et spejl i laboratoriet. Spejlet drejer på en laserstråle, der flytter på rigtige atomer.

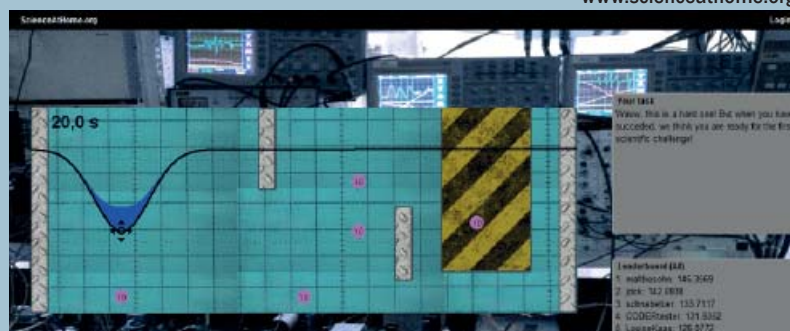
Forskerne arbejder på at udvikle spillet, så det bliver muligt for spillere at arbejde sammen, da det er muligt at løsningen ligger i en kombination af mange spillers teknikker fremfor i en enkelt spillers. To dage efter udgivelsen af spillet var der allerede blevet spillet over 20.000 baner i spillet, og de første videnskabelige resultater genereret.

CRK, Kilde: Pressemidd. fra Science & Technology, Aarhus Universitet

Skærm dump fra spillet.

Prøv spillet på:

www.scienceathome.org



Magnetisk køling

– køleteknologi med en varm

En stor del af verdens elektricitetsforbrug anvendes til køling. Der er derfor stort fokus på at nedbringe energiforbruget af køleskabe. Magnetisk køling, der udnytter, at visse materialer skifter temperatur, når de kommer ind i et magnetfelt, er et lovende og energieffektivt alternativ til den traditionelle køleteknologi.

Forfattere



Anders Smith,
chefkonsulent,
Institut for
Energikonver-
tering og -lagring, DTU.
ansm@dtu.dk



Christian Bahl,
seniorforsker,
Institut for
Energikonver-
tering og -lagring, DTU.
chrb@dtu.dk

Nogle materialer skifter temperatur, når de kommer ind i et magnetfelt. Det kan man udnytte til at lave miljøvenlige og effektive alternativer til traditionelle køleskabe og varmepumper. Fænomenet, den såkaldte *magnetokaloriske effekt*, har været kendt i næsten 100 år. I mange år anvendte man kun effekten til at opnå ultralave temperaturer i laboratoriet, men fra 2000-tallet og frem har der været en voksende indsats for at udnytte fænomenet til køling ved mere almindelige temperaturer.

Et ganske almindeligt køleskab virker ved, at et kølemiddel med lavt kogepunkt skifter fase fra væske til damp og tilbage igen i en cyklisk proces. Når kølemidlet er på væskeform, er det koldt og kan optage varme fra det indre af køleskabet (som så afkøles). Efterhånden som kølemidlet optager varmen, fordamper væsken. En kompressor sammentrykker dampen under højt tryk, hvorved dampens temperatur stiger. På bagsiden af køleskabet kan dampen nu afgive sin overskydende varme til den omgivende luft. Under denne proces fortættes dampen til væske, der så passerer en ekspansionsventil, hvor trykket falder brat. Det sænker væskens temperatur (strengt taget fordamper en del af væsken samtidig, så der bliver tale om en kold blanding af væske og gas), og cyklussen kan begynde forfra. Kompressoren, som basalt set er en pumpe, har været anvendt i mere end 150 år til køling.

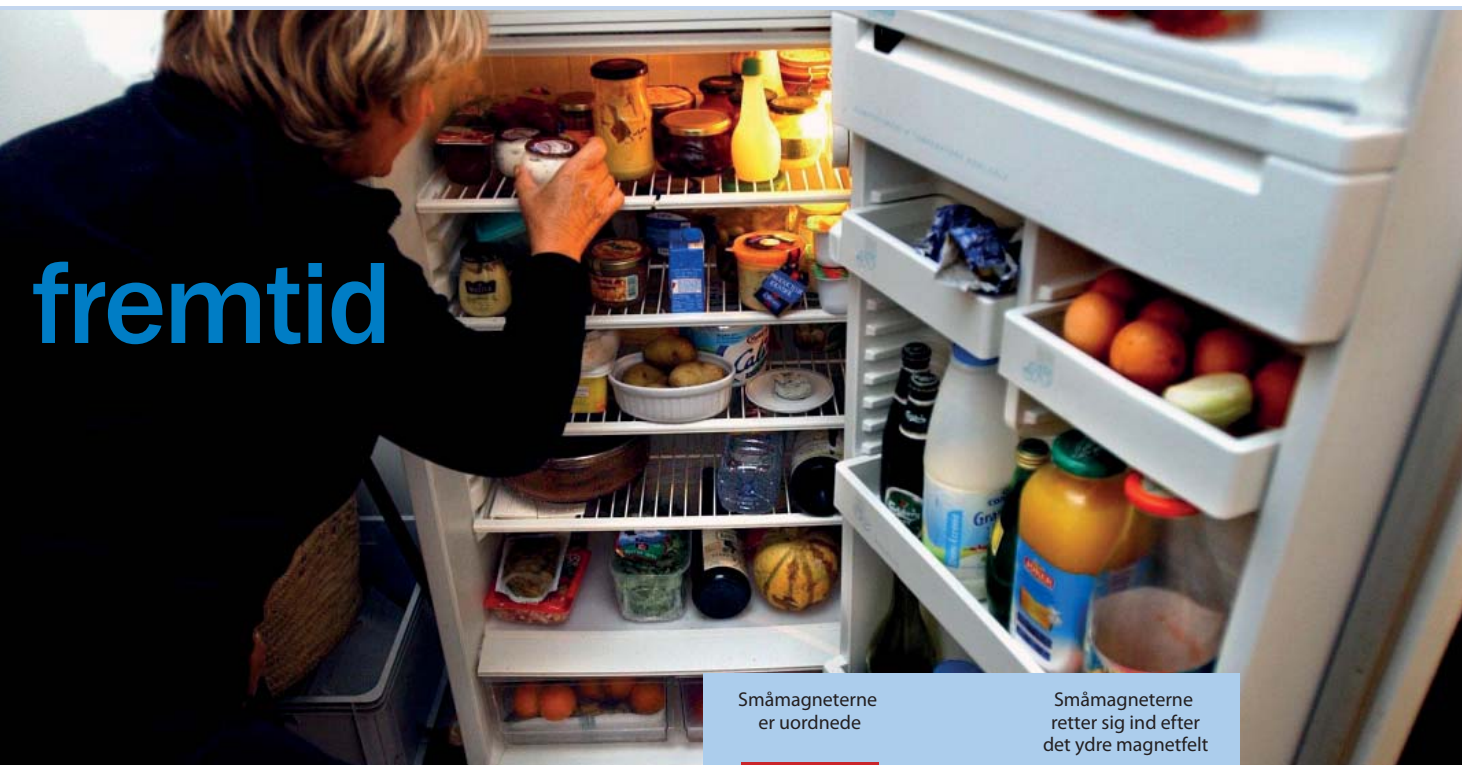
Magnetiske køleskabe

Effektiviteten af et køleskab er defineret som den mængde varme, der fjernes fra køleskabets indre i løbet af et vist tidsrum, divideret med den mængde arbejde (i form af elektricitet) man har tilført kom-

pressoren for at drive den. Hvis processerne i kølecyklussen er uden indre tab (sådanne processer kalder man reversible, da de kan forløbe lige godt i begge retninger), får man den højst opnåelige effektivitet. Der er imidlertid flere irreversible delprocesser i en kompressorcyklus. Den vigtigste skyldes den næsten fri udvidelse af væske-gas-blandingen efter ekspansionsventilen: Når en gas udvider sig frit, er det altid en irreversibel proces. Der er derfor en grænse for, hvor meget tabene i en kompressor kan reduceres. I modsætning hertil er den magnetokaloriske effekt reversibel: Temperaturen af et magnetokalorisk materiale, der kommer ind i et magnetfelt, stiger et vist antal grader, og når materialet fjernes fra magnetfeltet, falder temperaturen tilbage til udgangspunktet igen. Potentielt kan man derfor opnå en højere effektivitet i et kølesystem baseret på den magnetokaloriske effekt.

Hvis det er tilfældet, kan man undre sig over, at alle køleskabe ikke er magnetiske. Det skyldes primært, at man ikke kan bruge den magnetokaloriske effekt direkte. Selv i ret kraftige magnetfelter (1-1,5 tesla) er den nemlig alt for lille, i størrelsesordenen 3-4 °C, til at den alene kan udnyttes til at køle et køleskab. Man bliver derfor nødt til at bruge den lille magnetokaloriske temperaturændring til at opbygge en meget større temperaturforskul mellem et køleskabs kolde og varme side. Det gør man ved at arrangere de magnetokaloriske materialer i en såkaldt regenerator, der på samme tid kan opretholde temperaturforskellen og transportere varmen fra den kolde til den varme side. Varmetransporten sker ved hjælp af en væske, typisk vand eller vand blandet med køler-væske (hvis man skal under 0 °C), der skubbes frem

fremtid



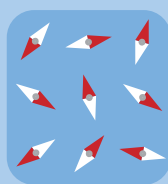
og tilbage i regeneratoren. Lokalt i regeneratoren skifter temperaturen under en kølecyklus kun de 3-4 °C som den magnetokaloriske effekt giver, mens temperaturforskellen fra den ene ende af regeneratoren til den anden er mange gange større. Selvom vandet ikke skifter fase undervejs i processen, vil der stadig optræde tab, når varmen skal overføres mellem regeneratoren og væsken. En stor del af udfordringen er derfor at designe regenerators, der er så effektive som muligt til at overføre varme samtidig med, at de også har en høj magnetokalorisk effekt.

Den afgørende Curie-temperatur

Den magnetokaloriske effekt skyldes et samspil mellem den magnetiske orden og molekylerne varmebevægelse i et magnetisk materiale. Dette samspil er særligt tæt i nærheden af den såkaldte Curie-temperatur, som er forskellig fra materiale til materiale. Når temperaturen er lavere end Curie-temperaturen, er materialet magnetisk, mens det er umagnetisk, når temperaturen er højere end Curie-temperaturen. Det er kun i temperaturområdet omkring Curie-temperaturen, at der er en magnetokalorisk effekt af betydning, og det gælder derfor om at finde materialer, der både har en høj effekt og en Curie-temperatur, der ligger i det rigtige område. Et meget brugt materiale er grundstoffet gadolinium, som har en Curie-temperatur på 20 °C.

En stor del af den internationale forskningsindsats går på at finde nye magnetokaloriske materialer. Hele forskningsområdet blev da også for alvor sat i gang da V.K. Pecharsky og K.A. Gschneidner, Jr., fra det amerikanske Ames Laboratory i 1997

Småmagneterne er uordnede

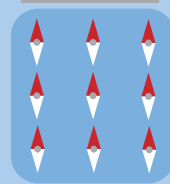


T
Temperatur

Småmagneterne retter sig ind efter det ydre magnetfelt



Magnet der flyttes frem og tilbage



T + ΔT
Temperaturstigning

Den magnetokaloriske effekt

Et magnetisk materiale kan forsimplet betragtes som bestående af en samling af atomare småmagneter (små kompasnåle på tegningen). Magnetfeltet fra hver enkelt småmagnet stammer fra elektronernes bevægelse omkring atomkernen i kombination med det indre impulsmoment (spin) som hver elektron har.

Selv om et materiale består af disse småmagneter er det dog ikke sikkert, at det fremstår som magnetisk; det gør det kun, hvis vekselvirkningen mellem to nabomagneter er sådan, at de foretrækker at pege i samme retning. Jo højere temperaturen er, jo sværere bliver det for to nabomagneter at blive ved med at pege i samme retning, da de tilfældige molekylære varmebevægelser vil forstyrre ordenen. Når materialets temperatur overstiger dets såkaldte Curie-temperatur, vil varmebevægelserne være så kraftige, at de ødelægger den magnetiske orden.

Lige omkring Curie-temperaturen balancerer temperaturens tendens til uorden næsten småmagneternes ønske om at være ordnede. Det betyder, at man med et ydre magnetfelt kan påvirke den magnetiske orden kraftigt. Når man nærmer en tilpas kraftigt magnet til materialet, vil alle småmagneterne rette sig ind efter det ydre magnetfelt. Det nedbringer graden af magnetisk orden (eller for at være mere præcis: den magnetiske entropi falder) i materialet, men hvis materialet ikke udveksler varme med omgivelserne er dets samlede entropi bevaret. Derfor vil den øgede orden af småmagneterne blive kompenseret af flere tilfældige varmebevægelser af molekylerne, dvs. en øget temperatur.

Temperaturstigningen ΔT er den magnetokaloriske effekt. Hvis man fjerner magneten igen, bliver småmagneterne atter uordnede, og temperaturen falder tilbage til den oprindelige. Den magnetokaloriske effekt er derfor reversibel.

opdagede den såkaldte *giant magnetocaloric effect* i materialet $\text{Gd}_5\text{Si}_2\text{Ge}_2$ (gadolinium-silicium-germanium), hvor effekten er endnu større end i gadolinium. I dag er fokus i høj grad på at finde serier af materialer med forskellig Curie-temperatur, der kan sættes efter hinanden i en regenerator. Derved sikrer man, at hvert materiale virker i netop det temperaturområde, der er optimalt for det, og man kan dermed øge ydelsen.

Tværfaglige udfordringer

Det er imidlertid ikke nok at have et eller flere gode magnetokaloriske materialer. Man skal også kunne formgive dem, så man får en regenerator med lille modstand over for gennemstrømmende væske, men samtidig med højt overfladeareal så regeneratoren kan udveksle varmen med væsken. Desuden har man brug for en magnet med skarpt afgrænsede områder af henholdsvis højt magnetfelt og intet magnetfelt, og et systemdesign med en præcis timing af væskestrømning og magnetfelt.

Den krævede indsats er derfor i høj grad tværfaglig. På Institut for Energikonvertering og -lagring på DTU, hvor vi har arbejdet med magnetisk køling i snart 10 år, samarbejder fysikere, ingeniører, kemikere, laboranter og forskningsteknikere om bl.a. materialeudvikling, formgivning af materialer, design af magneter og systemer samt modellering både på mikroniveau og på systemniveau. Udfordringerne kan vise sig uventede steder. Det kan således virke som en trivial ting at gå fra et godt materiale, udmålt og karakteriseret i form af en lille pulverprøve, til en regenerator bestående af fx kugler eller plader af det samme materiale. Det er imidlertid langt fra tilfældet – det kan være både dyrt

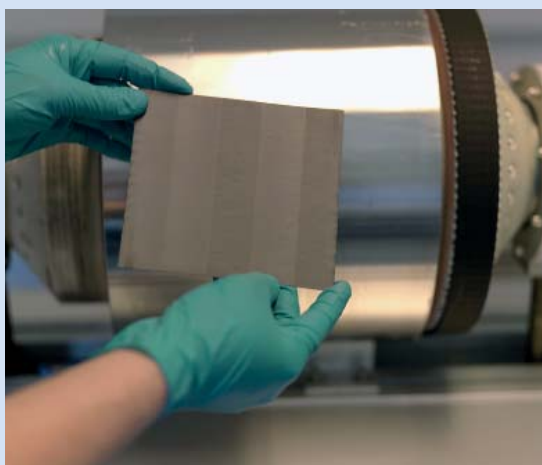
og vanskeligt at finde processer, der kan formgive de ofte ikke særligt mekanisk stærke materialer. På DTU Energikonvertering har vi udviklet en metode til billigt og hurtigt at fremstille plader af magnetokaloriske keramiske materialer, hvor man allerede i fremstillingsprocessen sammensætter dem af materialer med forskellige aktive temperaturområder og dermed skræddersyr pladerne til at gå direkte ind i en regenerator. Metoden er udviklet i samarbejde med kolleger inden for keramisk procesteknologi, et område som instituttet har mange års erfaring med i forbindelse med brændselsceller. Faktisk er de keramiske materialer, vi bruger, nært beslægtet med katodematerialerne i keramiske brændselsceller.

Prototype

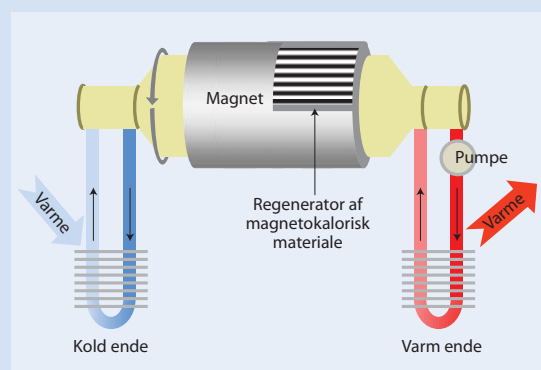
Vores tværfaglige tilgang til udviklingen er netop et af vores stærke fortrin i sammenligning med de mange internationale grupper, der også arbejder med den magnetokaloriske effekt og magnetisk køling. De fleste andre grupper fokuserer på et enkelt aspekt: enten på materialeudvikling, på modellering eller på systemopbygning. Vores hidtidige arbejde, støttet af Det Strategiske Forskningsråd gennem projektet MagCool, mundede i 2011 ud i konstruktionen af en laboratorieprototype, der demonstrerer teknologiens principper.

Prototypen består af en specialdesignet magnet, der har form som to koncentriske cylindre. Magneten danner fire områder med højt magnetfelt og fire områder med lavt magnetfelt i mellemrummet imellem de to cylindre. I dette mellemrum anbringes regeneratoren, som indeholder magnetokaloriske materialer i form af enten plader eller små kugler. Ved at rotere regeneratoren bliver materialerne

Prototype på en magnetisk køleenhed



Fotoet viser en plade af et keramisk magnetokalorisk materiale foran laboratorieprototypen. Pladen består af fem forskellige magnetokaloriske materialer med hver deres Curie-temperatur. På DTU Energikonvertering er der fremstillet et stort antal af sådanne plader, som skæres til og monteres som regenerators i prototypen som vist på principskiten. Prototy-



pen består af en magnet med områder med højt og lavt magnetfelt, hvorigennem de magnetokaloriske materialer roteres. En væske pumpes rundt i systemet for at trække den resulterende opvarmning og nedkøling ud fra materialet. Det resulterer i en kold og en varm ende af systemet, hvorfra der kan optages og afgives varme.

skiftevis opvarmet og nedkølet. Samtidig strømmer der væske frem og tilbage langs regeneratoren for at transportere varmen fra den kolde ende af maskinen til den varme. Maskinens ydelse afhænger af driftsparametrene (rotationshastighed og væskestrømning). Selv om ydelsen nærmer sig noget praktisk anvendeligt, er der dog stadig tale om en laboratorieprototype. Fx skal prototypens hjælpekomponenter (motor og pumpe) optimeres væsentligt for at forbedre effektiviteten. Det er noget af det arbejde, vi er i gang med.

Konkurrencedygtig teknologi?

Når man arbejder med forskning, der har et anvendelsesmæssigt perspektiv, får man ofte spørgsmålet: Hvornår bliver teknologien kommerciel? Det er også et af de spørgsmål, der er sværest at besvare.

Nogle gange går det meget hurtigt med at omsætte et forskningsfelt til et produkt, mens det andre gange er et langt sejt træk. Andre gange igen (og måske de fleste) lykkes det aldrig. Desværre kan man ikke altid på forhånd forudsige, hvad der bliver en succes, og hvad der bliver en fiasko. Når det gælder magnetisk køling er vi oppe mod en uhyre moden og veludviklet teknologi i form af kompressoren, som ikke engang er særlig dyr. Dertil kommer, at flere af de materialer, der bruges til magnetisk køling indeholder de såkaldte sjældne jordarter, som der i øjeblikket er stor kommerciel og politisk fokus på, da Kina sidder på en meget stor del af verdensproduktionen og derfor i vid udstrækning kan bestemme priserne. De magneter man skal bruge, indeholder også en af de sjældne jordarter, neodym. Man kan derfor spørge, om magnetisk køling nogensinde vil blive konkurrencedygtig rent prismæssigt.

Vi og flere andre forskningsgrupper har udført omkostningsanalyser, der viser, at trods indholdet af sjældne jordarter vil teknologien på længere sigt godt kunne konkurrere med de eksisterende køleteknologier. Dertil kommer, at de to dyreste komponenter, regeneratoren og magneten, ikke slides og derfor let vil kunne genbruges efter køleskabet er udtjent. Én mulighed er at tænke i nye forretningsmodeller, hvor forbrugeren leaser sit køleskab og returnerer det efter endt brug til genanvendelse.

Fremtiden for magnetisk køling

Når det er sagt, er der dog nok heller ikke nogen tvivl om at husholdningskøleskabet ikke er den anvendelse hvor magnetisk køling først får sit genembrud – markedet er for prisfokuseret og den potentielle besparelse for forbrugeren ikke stor nok endnu. Derimod ser vi gode muligheder for anvendelser inden for forskellige nicher, hvor fordelene ved magnetisk køling kommer til sin ret: store anlæg til fx supermarkeder eller kølecontainere, specialanvendelser som køling af servere i datacentre, små lydløse anlæg til hotelværelser og ikke mindst varmepumper til opvarmning.

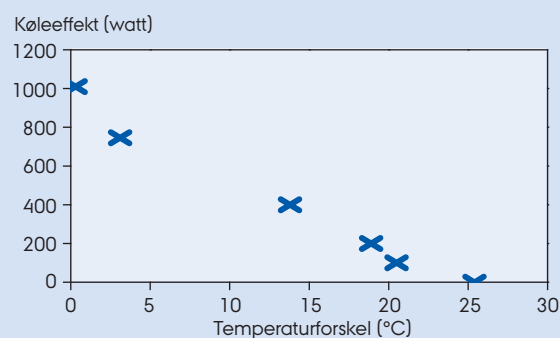
Vi har netop fået bevilget et stort projekt fra Det Strategiske Forskningsråds Programkomite for Energi og Miljø, hvor vi i samarbejde med danske og internationale forskningsinstitutioner og virksomheder skal tilvejebringe det forskningsmæssige grundlag for at bruge teknologien til varmepumper. Projektet vil munde ud i demonstrationen af en magnetisk varmepumpe i 2016. Vi tør derfor godt spå at magnetisk køling går en varm fremtid i møde.

Læs mere

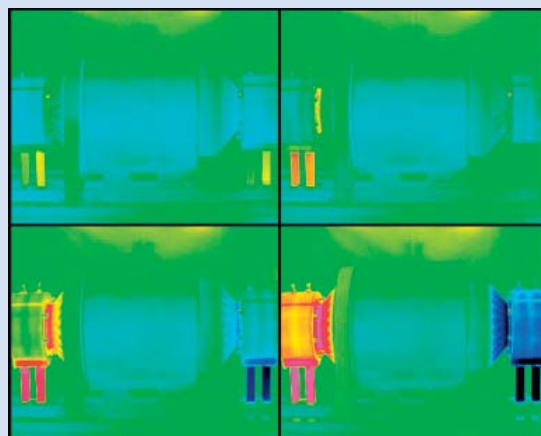
A. Smith, C.R.H. Bahl, R. Bjørk, K. Engelbrecht, K.K. Nielsen og N. Pryds: 'Materials challenges for high performance magnetocaloric refrigeration devices', Adv. Energy Mater. 2, 1288-1318 (2012)

K.A. Gschneidner, Jr., og V.K. Pecharsky: 'Thirty years of near room temperature magnetic cooling: Where we are today and future prospects', Int. J. Refr. 31, 945-961 (2008)

K. Engelbrecht, D. Eriksen, C.R.H. Bahl, R. Bjørk, J. Geyti, J.A. Lozano, K.K. Nielsen, F. Saxild, A. Smith og N. Pryds: 'Experimental results for a novel rotary active magnetic regenerator', Int. J. Refrig. 35, 1498-1505 (2012)



Resultater opnået med DTU Energikonverterings laboratorieprototype til magnetisk køling. I dette tilfælde har vi anvendt gadolinium som magnetokalorisk materiale. Den højeste temperaturforskel fås der, hvor der ikke produceres nogen køleeffekt, og tilsvarende fås den højeste køleeffekt der, hvor den kolde og varme ende har samme temperatur. Ingen af disse situationer er nyttige til faktiske anvendelser, hvor man ønsker både køleeffekt og temperaturforskel samtidig. Med en temperaturforskel på 21 °C kan prototypen levere 100 watt køleeffekt. Til sammenligning har et almindeligt køleskab en køleeffekt på omkring 25 watt.



Termografiske billeder af prototypen på DTU Energikonvertering, optaget med et infrarødt kamera. Man ser, hvordan der hurtigt opbygges en temperaturforskel mellem den varme ende (tv. på billederne) og den kolde ende (th.). Under sædvanlig drift er rørene isolerede for at undgå varmetab, men her er isoleringen fjernet af hensyn til optagelserne.

Som at være der selv

I det europæiske forskningsprojekt BEAMING prøver forskerne at give oplevelsen af, at man teletransporteres til et andet sted. Arbejdet kan give nye dimensioner til sociale netværk, telekonferencer, spil, underholdning og læring.

Forfatteren



Dorte Hammershøj er professor ved Institut for Elektroniske Systemer Aalborg Universitet
dh@es.aau.dk

Drømmen om at kunne rejse til universets fjerne planeter har givet inspiration til mange gode og dårlige bøger, film og computerspil. Det er også en inspiration for forskere, som dog i første omgang må arbejde med metoderne i mere dagligdags omgivelser.

Et af projekterne er det europæiske samarbejde BEAMING, som er inspireret af Star Trek-scenariet "Beam me up, Scotty". I filmen teletransporteres deltagerne fra rumskibet til et andet geografisk sted, og kan her opleve den virkelighed, der er på det sted. I virkeligheden kan man (endnu) ikke flytte et menneske på den måde, men man kan derimod stimulere et menneskes sanser, så man oplever det som om, man er et helt andet sted. For at gøre illusionen komplet kan man på det sted, man "besøger", være repræsenteret af et andet fysisk legeme, som i bund og grund er en avanceret robot. Filmen AVATAR bruger fx denne vision som et element i fortællingen om kolonialiseringen af fjerne himmelstrøg.

At være der uden at være der

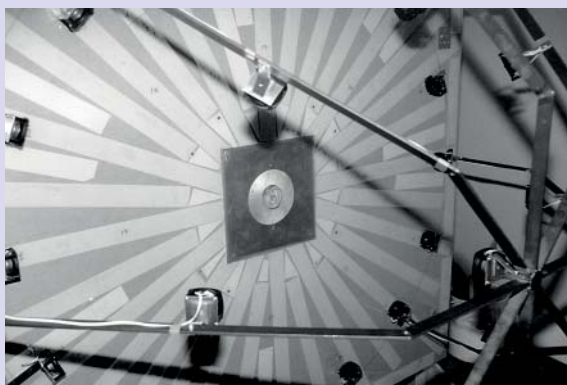
Vor teknologiske formåen lever ikke helt op til vore fantasier. Men der findes situationer, hvor vi med teknologier som head-mounted displays, hovedtelefoner, handsker og bodysuits med tryk- og varmesensorer, exo-skeletter m.m. kan give en person en meget naturtro oplevelse af at "være et andet sted" – i det mindste for en stund. I BEAMING-scenariet

er dette situationen for den person, som beskrives som "gæsten" (visitor). Man forestiller sig, at gæsten har det avancerede IT-system med de forskellige teknologier til at påvirke sanserne hjemme hos sig selv, og at der på besøgsstedet er en form for visualisering eller legemliggørelse af gæsten i form af en robot, et holografisk eller lignende. Ideelt ville den legemliggørelse af gæsten være i stand til at interagere med omgivelserne på besøgsstedet, og såvel gæst og "lokale" (personer på besøgsstedet) vil få oplevelsen af at være sammen på besøgsstedet. På Aalborg Universitet arbejder vi med den del af projektet, der handler om akustikken i scenarierne og lyddelen i systemerne.

Fra xylofonlærere til sportsjournalister

I BEAMING-projektet indgår en række forskellige scenarier, som udfordrer teknologierne forskelligt. I et af scenarierne forestiller man sig, at en xylofonlærer underviser en gruppe elever, som sidder i et andet lokale, måske i en anden by. I rummet hos eleverne står en robot, som slår på xylofonen, når læreren bevæger sig – hjemme hos sig selv. Som en del af undervisningen, beder læreren eleverne om at spille stykker på skift. Det er vigtigt, at lyden optages sådan, at læreren ved gengivelsen (over hovedtelefoner i et andet rum) kan høre eleverne på de rigtige pladser i elevrummet. Når det lykkes, vil læreren lettere kunne høre, hvem af eleverne, der snakker eller spiller og give de rigtige instrukser til den rigtige elev.

Almindelige øretelefoner lukker lyden fra omgivelserne ude. Det kan være udmærket for gæsten, som kun skal have oplevelsen af besøgsstedet. Men det duer ikke, hvis man fx er på besøgsstedet og skal høre både dem, man er sammen med, samt den gæst, som beamer ind som et holografisk. Derfor vil man formentlig i fremtiden bruge avancerede øretelefoner, som har mikrofoner udvendigt på selve kapslen, så man også kan høre sine omgivelser. Det kan minde lidt om et meget moderne høreapparat, men det skal blot kunne gengive flere frekvenser og styres helt anderledes. Øretelefonerne skal så sidde helt inde i øret, så de ikke forstyrrer de fingeraftryk, som øret giver lyden fra forskellige retninger. Billederne viser en opstilling fra laboratoriet, hvor der er målt retningsafhængighed på eksperimentelle øretelefoner med mikrofoner udvendigt.



Fotos: Flemming Christensen

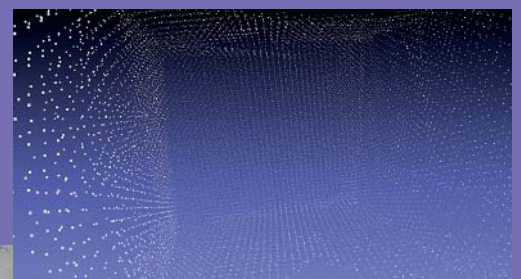
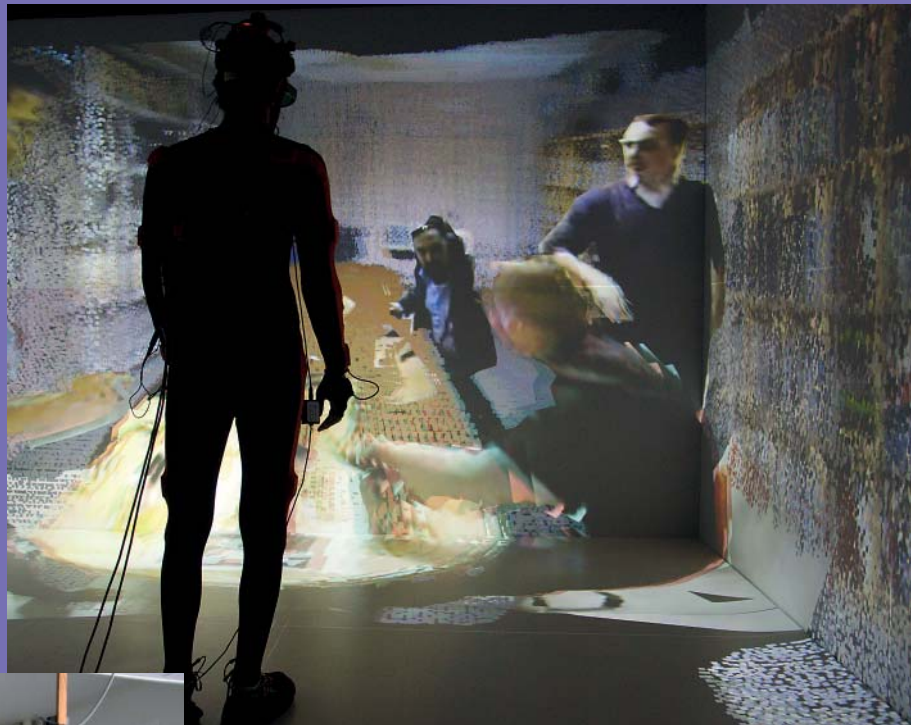
BEAMING-projektet

BEAMING er et akronym for projektets fulde titel: **B**eing in **A**ugmented **M**ulti-**M**odal **N**etworked **G**atherings. Multi-Modal betyder, at man søger at stimulere flere af personens sanser i stedet for blot fx at give et visuelt input fra et givent scenarie, eller blot transmittere lyden.

Sansernes samspil er vigtigt for den naturtro oplevelse, men i nogle tilfælde kan en modalitet dominere. Vi kender det fra bugtalerkunsten, hvor vi narres til at tro, at dukken taler, selvom lyden reelt kommer fra dukkeføreren. Vi er tilbøjelige til at tro mest på, hvad vi ser. Men hørelsen er den eneste sans, som kan give input om objekter fra vilkårlige retninger, inden de kommer i direkte kontakt med legemet. Derfor synes hørelsen at være en vigtig modalitet i situationer, hvor man skal orientere sig og navigere rundt i ukendte omgivelser.

Det øverste billede viser det virkelige møderum, mens billedet nederst viser "gæsten", som med bodysuit, positionstracker og høretelefoner får en meget naturlig oplevelse af at være på besøg i møderummet. Grafikken på væggene computergenereres specifikt til gæsten og hans position, og er derfor vanskelig at gengive på et fotografi. →

Fotos: Esben Madsen



Når gæsten skal have oplevelsen af at være på besøg i et andet rum, skal den lyd han hører, også lyde, som den gør i besøgsrummet. Hvis besøgsrummet er et stort rum, skal man kunne høre det, og hvis det er et lille kammer, skal man kunne høre det. En af metoderne bruger data fra en såkaldt Kinect-scanner, som giver en digital repræsentation af rummet. Denne repræsentation anvendes som input til en rum-simulering, hvor computeren gennemregner lydtransmissionen ved brug af bølgeligninger. Det er en beregningskrævende opgave, hvorfor den digitale repræsentation skal bearbejdes en smule på forhånd.

Foto og computergrafik: Miloš Marković



Videre læsning

Om BEAMING-projektet
<http://beaming-eu.org/>

Om rum-scanning
 Marković, M., Olesen, S.K. & Hammershøj, D.: Three-dimensional point-cloud room model for room acoustics simulations, *proceedings of The 21st International Congress of Acoustics*, Montreal, June 2-7 2013.

Om hear-through øre-telefoner: Hoffmann, P.F., Christensen, F., Hammershøj, D.: Insert earphone calibration for hear-through options, *proceedings of the Audio Engineering Society's 51st International Conference on Loudspeakers and Headphones*, Helsinki, August 21-24 2013.

I et andet scenarie gennemføres et jobinterview. Virksomhedens ansættelsespanel sidder i et rum, mens ansøgeren er et andet sted og beamer sig ind ved at påføre sig de nødvendige teknologier. Møderummet visualiseres for ansøgeren, og han får lyd præsenteret over hovedtelefoner, som giver den naturlige oplevelse af retning og afstand. Herved kan samtalen forløbe mere afslappet, og han vil også kunne høre, hvad de forskellige siger, når de kommer til at tale i munden på hinanden.

I et tredje scenarie interviewer en sportsjournalist en gruppe basketballspillere gennem en robot på stedet. Basketballspillerne står omkring robotten, som selektivt drejer sig mod den ene og den anden efter tur og retter mikrofonen mod den, som er i "ilden". Journalisten sidder hjemme i studiet og lytter til lyden, som om han var i robotens sted. Han får baggrundsstemningen med og kan fx høre, hvis der pludselig er tilråb fra tilskuerpladserne, eller der sker andre ting, som kunne være værd at transmittere. Journalisten, som sidder hjemme i studiet, vil opleve det som om, han er i robotens sted. Hvis han drejer sig mod tilskuerpladserne, vil robotten i sportshallen dreje sig tilsvarende, så journalisten nu ser og hører begivenhederne, som om han vender mod tilskuerpladserne.

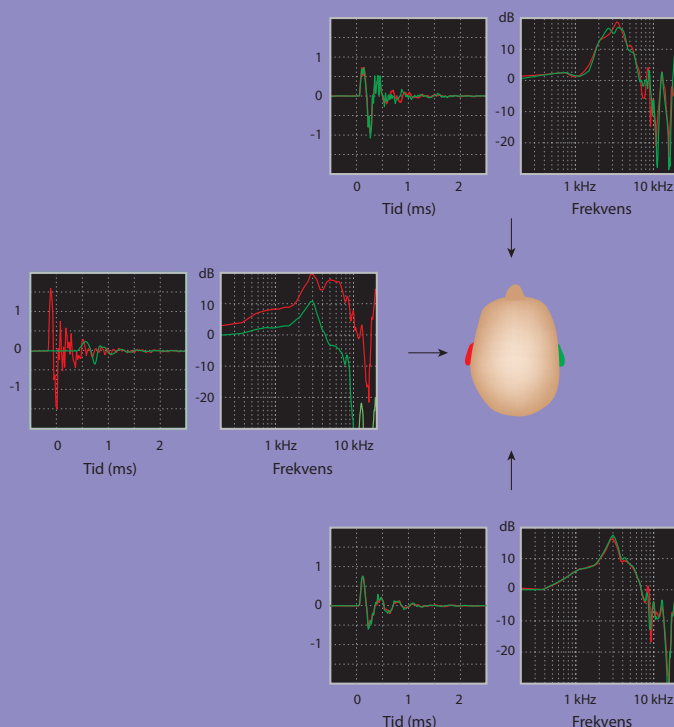
Den autentiske lydoplevelse

For at optage og gengive lyden, så den giver den helt autentiske oplevelse af retning og afstand til lydkilden, skal man principielt optage lyden i ørerne på lytteren selv. I BEAMING (og lignende) projekter vil man derfor kun kunne anvende denne metode, hvis robotten har form og facon som et menneske med rigtige øreflipper og mikrofoner i ørekanalen og

med mulighed for at bevæge sig naturligt. De færreste robotter lever op til disse krav. Desuden vil man i mange situationer ønske blot at visualisere "gæsten" med et holografi eller en anden grafisk repræsentation. Alternativet vil derfor være, at man giver de personer, der rent fysisk er til stede i lokalet headsets med mikrofoner på, og så lader computersystemet tilføje den rigtige lydretning. Computersystemet henter oplysningerne til processeringen i en database, som rummer beskrivelser af lydtransmissionen til lytterens ører fra – ideelt – alle tænkelige retninger.

Tingene skal passe sammen

BEAMING-projektet er bygget op omkring et netværksprincip, hvor alle de forskellige delelementer kobler til og fra gennem en serverstruktur. Dette kender vi allerede i dag fra en del online spil. I BEAMING-konceptet gives adgang til en række informationer om deltagernes positioner, deres bevægelser, video og lydoptagelser m.m., som et andet tilsvarende computersystem kan læse fra. Hvorvidt systemet skal fungere som hjælp for sportsjournalisten eller xylofonlæreren programmeres i princippet på serveren. Serveren må så arbejde med de inputs, den får, i forhold til hvilke stimuli den kan give tilbage til gæst og de øvrige deltagere. Dette setup gør, at teknologierne kan skiftes relativt uafhængigt af hinanden efterhånden som nye muligheder dukker op. I forhold til lyd kender man allerede de mest afgørende principper, og hvorvidt det i sidste ende virker, vil meget ofte afhænge af, hvordan de visuelt orienterede teknologier styres, og om det "passer sammen". De teknologiske udfordringer fremadrettet handler derfor i høj grad om at automatisere de procedurer, som kobler teknologierne sammen på en optimal måde. ■



Figuren viser eksempler på såkaldte Head-related Transfer Functions (HTRF), som er beskrivelser af lydtransmissionen til en lytters ører fra forskellige retninger. Lyden kommer nogle millisekunder tidligere til det øre, der er nærmest lydkilden og lidt senere til det øre, der er fjernest. Når lyden rammer øret, påvirkes det af øreflippernes komplicerede facon. Nogle frekvenser forstærkes, andre dæmpes. Hver retning efterlader derfor et "fingeraftryk" for den retning, den kom fra. Hjernen kender disse karakteristika og kan derfor lokalisere lydkilden. I situationer, hvor mange taler i munden på hinanden, kan man i et vist omfang "tune ind" på den person, som man vil lytte til. Denne evne omtales derfor ind i mellem som cocktail-party-effekten.

HRTF'er for alle retninger indgår i computersystemets database, og bruges fx til at give lyden af de lokale mødedeltageres "retning" i forhold til gæstens egen orientering. HRTF'erne udskiftes kontinuerligt i processeringen, fx når personerne i scenarierne flytter sig i forhold til hinanden. Det er uendelig vigtigt, at lyden passer med de signaler, som hjernen får fra led og muskler (det proprioceptive system).



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

KEMI

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

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

Som kemiker kan man desuden undervise på de gymnasiale uddannelser.



AALBORG UNIVERSITET

Intelligente materialer kunstige muskler

En opsigtsvækkende type af "intelligent materiale" kan stå overfor et kommercielt gennembrud i milliardklassen. Dielektriske elektroaktive polymerer (DEAP) kan fx bruges som kunstige muskler, som energi-høstere eller i ultratynde højttalere. For til fulde at realisere potentialet skal en række processer i produktionen dog forbedres.

Forfattere



Frederikke
Bahrt Madsen,
ph.d.
-studerende.

Dansk Polymer Center,
DTU Kemiteknik, DTU
frbah@kt.dtu.dk



Anders
Egede
Daugaard,
adjunkt,

Dansk Polymer Center,
DTU Kemiteknik, DTU
adt@kt.dtu.dk



Søren
Hvilsted,
professor,
Dansk

Polymer Center, DTU
Kemiteknik, DTU
sh@kt.dtu.dk



Anne Lade-
gaard Skov,
lektor,
Dansk

Polymer Center, DTU
Kemiteknik, DTU.
al@kt.dtu.dk

Det har i mange år været en udfordring for forskere og ingeniører at udvikle et materiale, der grundlæggende fungerer på samme måde som en muskel. Dielektriske elektroaktive polymerer (DEAP) er en type intelligent materiale, der har vist sig at have de rette egenskaber. Verdens førende producent af DEAP-materialer er den danske virksomhed Danfoss A/S, som siden 1995 har været involveret i teknologien. Siden har det vist sig, at DEAP-teknologien har potentiale til at blive anvendt inden for mange andre områder – fx indenfor robotteknologi, proteser, pumper, ventiler, bølgeenergi-generatorer og ultratynde højttalere.

Motor og energi-høster

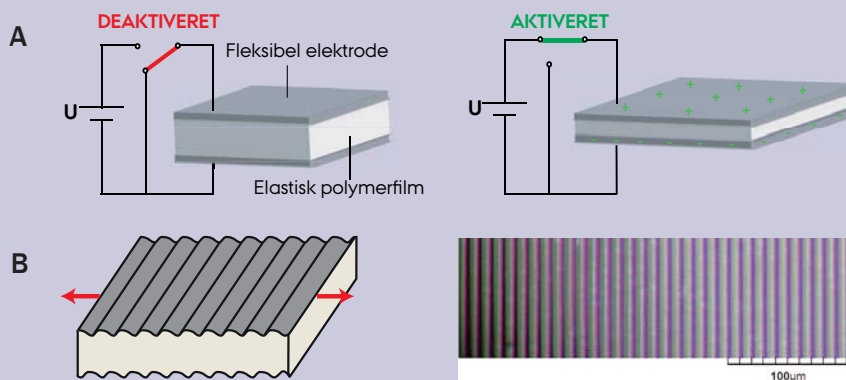
Den meget store spændevide i de mulige anvendelser skyldes det simple og fleksible funktionsprincip i DEAP-teknologien. En DEAP består sædvanligvis af en tynd elastisk polymerfilm (en såkaldt elastomer), der er anbragt imellem to ultratynde og fleksible elektroder. Elektroderne består af ledende materialer – ofte ædelmetaller som guld eller sølv. Når der sættes en elektrisk spænding over elektroderne, vil der dannes elektriske ladninger, der er positive på den ene elektrode og negative på den anden elektrode. Ladningerne med de modsatte fortegn vil tiltrække hinanden og dermed presse elektroderne sammen. Polymerfilmen bevarer sit volumen (man siger, at den

er inkompressibel) og den vil derfor udvides i den tværgående retning af det elektriske felt, og arealet af DEAP'en bliver forøget. Den elektriske energi er dermed blevet omdannet til mekanisk energi.

En DEAP kan også anvendes til at generere energi. Det kan gøres ved at strække materialet og derefter oplade den strakte polymerfilm. Når den elastiske polymerfilm efterfølgende vender tilbage til sin oprindelige form, arbejder de mekaniske kræfter imod det elektriske felt, og den elektriske energi vil nu blive forøget. Den opladede energi kan derefter udvindes.

Mikrostrukturer forbedrer ydeevnen

I dag har Danfoss Polypower A/S, som blev stiftet som et datterselskab af Danfoss i 2008 for at udvikle og producere DEAP-materialer, udvidet deres oprindelige koncept og producerer nu DEAP-materialer til brug i både kunstige muskler og de mange andre anvendelsesområder. Virksomheden har specielt haft succes med at bruge materialerne som bevægelsessensorer og til aktuatorer, som er en type motorer, der kan bruges til at aktivere, bevæge eller styre et system. Virksomheden har udviklet en revolutionerende måde at producere DEAP-filmene på, hvor polymerfilmen bliver imprægneret med mikroskopiske overfladestrukturer, der forbedrer fil-



DEAP-teknologien

A. Skematisk illustration af princippet bag DEAP-teknologien.

Når en spænding sættes over elektroderne, vil de dannede ladninger tiltrækkes og dermed udvide materialet ved at presse den elastiske polymerfilm sammen. Når spændingen kobles fra, vender den strakte polymerfilm tilbage til sin oprindelige form.

B. Illustration af en DEAP-polymerfilm med mikroskopiske bølgestrukturer med forlængelsesretningen vist. Th.: Mikroskopbillede af Danfoss Polypower DEAP-polymerfilm med mikrostrukturer. Perioden mellem hver top er 10 μm og dybden er 5 μm, men kan varieres alt efter de ønskede specifikationer.

som og energi-høstere

mens ydeevne som aktuator og generator drastisk. Det skyldes, at mikrostrukturen styrer forlængelsen af materialet til kun at være i én retning, da stivheden på tværs bliver meget højere end på langs på samme måde som bølgekarton. Mikrostrukturen giver også materialet en større overflade, hvilket betyder, at elektroderne kan forlænges mere end på en tilsvarende ustrukturert overflade.

Danfoss Polypower sælger allerede nu deres DEAP-materialer til brug som bevægelsessensorer, men før DEAP-teknologien kan endeligt kommercialiseres som kunstige muskler, aktuatorer og energi-generatorer er der dog stadig flere udfordringer, der skal løses. Det drejer sig blandt andet om at optimere produktionen af DEAP-materialerne og forbedre det elastiske polymermateriale.

Anvendelser af DEAP-teknologien



Wavestar bølgekraft-testanlæg ved Hanstholm. Anlægget udvinder energi fra bølgerne ved hjælp af store flydere, der følger bølgenes bevægelser. Flyderne er fastgjort til en platform, der er fastnaglet på havbunden. Flydernes bevægelser overføres i dag til en generator ved brug af hydrauliske systemer. Hydraulikken giver dog anledning til store energitab, og derfor ønsker man at udskifte hydraulikken med DEAP-teknologien, hvormed man vil kunne opnå næsten 100 % effektivitet.

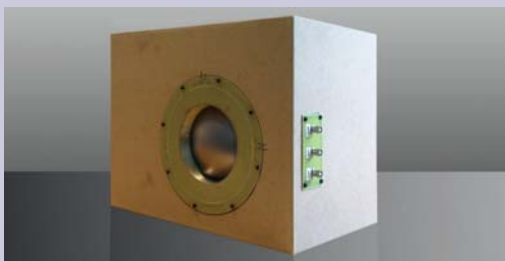


DEAP-teknologien kan anvendes til at stimulere ansigtsbevægelser hos patienter med lammelser. Her ses en illustration af en øjenlågsslynge tilknyttet en DEAP, der i dette tilfælde virker som en kunstig muskel. Strømforsyningen og den kunstige muskel er fastgjort i tindingen. Når det fungerende øjenlåg blinker, sendes et signal via den elektriske sensor (grøn) til batteriet om at aktivere den kunstige muskel i den lammede side. Denne teknologi forventes at være tilgængelig inden for de næste 5 år.



DEAP-teknologien er meget lovende til displays til blindskrift. Traditionelle omskiftelige blindskrifts-displays bruger keramiske materialer til at flytte stifter op og ned for at skabe bogstaver. Keramiske materialer er dog tunge, vanskelige at arbejde med og meget dyre. DEAP-materialerne er derimod lette, fleksible, nemme at arbejde med og billige at fremstille. Dermed vil prisbillige blindskrifts-displays snart være en realitet.

Demonstrationsmodel lavet af Yanko Design.
<http://www.yankodesign.com/2009/04/17/braille-e-book/>



B&O har demonstreret, at DEAP-teknologien kan bruges til at generere lyden i højtalere. På billedet ses en af deres prototyper. Fordelen ved DEAP-højtalere er deres lave vægt, deres skalerbarhed til små og store områder og deres evne til at kunne bruges på både flade og ikke-flade områder. Højtalere kan derfor bruges som tynde skærme og som buede højtalere til mange forskellige applikationer herunder til aktiv støjdemping.

Udfordringer i produktionen

En konkret udfordring for en storskalaproduktion er, hvordan de meget tynde polymerfilm kan håndteres. Tykkelsen af filmen svarer til et hår (ca. 30 μm), og derfor er det en delikat proces at tage filmen af det underlagsbånd, hvor den hærder, uden at den elastiske film går i stykker.

Mikrostrukturene på overfladen af polymerfilmen gør processen endnu mere vanskelig, da overfladearealet er meget større end på flade film, og det giver en meget kraftig binding imellem film og underlag. Når filmen skal tages af underlaget er det dermed nødvendigt at trække i den med en større kraft, hvilket alt andet lige forøger sandsynligheden for, at filmen går i stykker. Aftagningen kan også påvirke polymerfilmens ydeevne, fordi der kan opstå mindre defekter i filmen.

En anden udfordring i produktionen er, at der til traditionelle polymerfilm skal bruges store mængder opløsningsmidler i processen, hvor det uheldige polymermateriale påføres det mikrostrukturede underlagsbånd, og disse opløsningsmidler skal recirkuleres. Det fordyrer produktionen.

Kagerulle hjælper på vej

Ved DTU Kemiteknik arbejder vi sammen med Danfoss Polypower om at udvikle en ny metode til fremstilling af polymerfilmene med mikrostrukturer. Metoden går ud på at varmepræge polymerfilmen med en mikrostruktureret rulle i en løbende proces. Metoden kan sammenlignes med at anvende en kagerulle med bølgestruktur, som man ruller henover polymerfilmen. Polymerfilmen har nu den flade side ned mod underlagsbåndet og den strukturerede side opad. Det bliver dermed nemmere at tage polymerfilmen af underlagsbåndet, da det kræver mindre kraft at trække en flad film af båndet. To polymerfilm kan nu limes sammen med de flade sider mod hinanden, så filmen er struktureret på begge sider. Denne proces bruger desuden mindre opløsningsmiddel, da man kan bruge en mere tykflydende polymerblanding. Metoden er stadig på udviklingsstadiet, men det er en lovende proces på vejen mod den endelige kommercialisering af DEAP-materialerne.

Forbedring af filmen

Et andet vigtigt skridt mod kommercialisering er som nævnt optimering af selve polymerfilmene. Flere forskellige elastiske materialer kan bruges til den tynde polymerfilm. Det gælder fx silikoner som polydimethylsiloxan (PDMS), polyurethaner og akrylatklæbere kendt fra firmaet 3M. Blandt dem er silikonepolymeren PDMS særlig fordelagtig, da den har mange fremragende egenskaber som fx høj virkningsgrad og hurtig respons. En polymerfilm af silikone vil derfor udvide sig meget hurtigt efter tilføjelsen af den elektriske spænding, og samtidig går

der meget lidt energi tabt til omgivelserne. Fælles for de nævnte polymerer er dog, at de alle har en lav dielektrisk konstant. Den dielektriske konstant er et udtryk for et materiales evne til at oplagre elektrisk energi. Hvis polymeren har en lav dielektrisk konstant, er det nødvendigt med en meget høj elektrisk spænding for at opnå en tilstrækkelig forlængelse af polymerfilmen. Hvis materialet skal bruges til fx proteser er det selvsagt ikke praktisk med en høj elektrisk spænding, og det gør desuden elektronikken dyr og kompliceret.

Hvis man vil sænke den elektriske spænding, der skal bruges for at aktivere DEAP'en og få den til at bevæge sig, er der principielt tre muligheder: Man kan gøre materialet blødere, reducere tykkelsen af polymerfilmen eller fremstille materialer med en højere dielektrisk konstant.

Den største effekt på spændingen vil det have at gøre polymerfilmen tyndere, men da tykkelsen i Danfoss Polypowers produktion allerede er nede på 30-40 μm vil det være meget svært at opnå mere ad den vej. Et blødere materiale – dvs. som er mere elastisk – er også en meget stor udfordring. Det vil ofte forringe andre af materialets egenskaber som fx materialets stabilitet på længere sigt og dets rivstyrke – og desuden er det rent procesmæssigt vanskeligt at håndtere meget bløde materialer i en storskalaproduktion.

Derfor er det mest praktisk at optimere polymerfilmen ved at fremstille materialer med højere dielektriske konstanter.

Hvordan man undgår, at fyldstoffer laver ballade

Den dielektriske konstant forhøjes typisk ved at tilsætte forskellige fyldstoffer med meget høje dielektriske konstanter til polymerblandingen. Det skaber en polymerkomposit, hvor fyldstofferne fx kan være metaloxider som TiO_2 og BaTiO_3 eller ledende fyldstoffer som ekspanderet grafit, kulstof-nanorør og forskellige ledende polymerer. Kompositsystemerne har imidlertid forskellige ulemper som store varmetab til omgivelserne og reduceret elektrisk nedbrydningsstyrke. Det betyder, at materialet bryder sammen (kortsletter) og DEAP'en stopper med at fungere. Fyldstofferne har desuden en tendens til at klumpe sammen på grund af stor tiltrækningskraft mellem partiklerne. Det kan forringe de lokale mekaniske materialeegenskaber og føre til et elektrisk nedbrud af DEAP'en. Der er blevet udviklet forskellige metoder til at undgå denne sammenklumpning. Fx kan man indkapsle de ledende fyldstoffer som det eksempelvis er gjort for den ledende polymer polyanilin (PANI). PANI-partiklerne er blevet belagt med en ikke-ledende polymerskal. På den måde vil de ledende partikler ikke komme i direkte kontakt, og det er muligt at opnå en god

fordeling af partiklerne i polymerfilmen og forhindre et elektrisk nedbrud af materialet. Ved DTU Kemiteknik har vi udviklet en alternativ metode, hvor molekyler med høje dielektriske konstanter kemisk bindes ind på polymernetværket. Da molekylerne på den måde er fordelt i polymerfilmen, vil man helt kunne undgå, at de klumper sammen. Det giver en polymerfilm, der kan forlænges mere, og hvor en lavere elektrisk spænding er nødvendig for at aktivere DEAP'en.

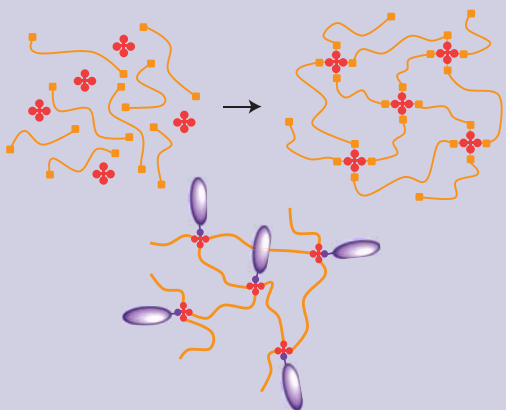
Mange indsatser

De nævnte produktions- og materialeoptimeringer er bare nogle af de initiativer Danfoss Polypower og DTU Kemiteknik arbejder på hen imod den endelige kommerialisering af DEAP-teknolo-

gien. Der arbejdes blandt andet derudover intens på flere forskellige metoder til yderligere at forhøje polymerfilmens ydeevne ved hjælp af forskellige fyldstoffer og nye silikonesystemer. Der arbejdes også videre på at forbedre polymerfilmens evne til at slippe underlagsbåndet med forskellige overfladeaktive stoffer samt at forbedre DEAP-materialernes elektriske nedbrydningsstyrke og langtidsholdbarhed. Et stort tværfagligt projekt, hvor Danfoss Polypower, udover DTU Kemiteknik, samarbejder med forskellige virksomheder, universiteter (SDU og AAU) og institutter på DTU såsom DTU Elektro og DTU Management, skal desuden medvirke til, at alle aspekter af DEAP-teknologien modnes, så den forhåbentlig snart vil vinde indpas inden for de mange spændende anvendelsesområder. ■

Elastomerer og polymernetværk

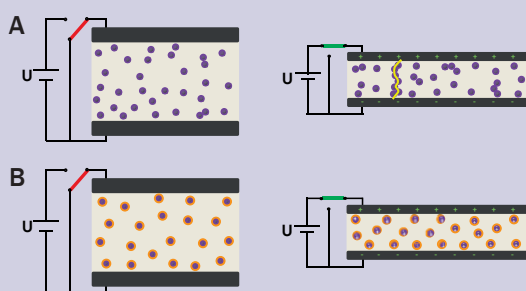
Elastomerer er polymere netværk, der dannes ved krydsbinding af lange kæder af molekyler. Netværket kan dannes ved enten bestråling med UV-lys eller ved brug af krydsbindermolekyler som vist i figuren. Før dannelsen af polymernetværket kan polymerkæderne bevæge sig uafhængigt af



hinanden. Efter krydsbindingsreaktionen (hærdningen) er polymerkæderne fastlåst i et netværk. Når materialet deformeres, vil det nu være elastisk og er i stand til at vende tilbage til sin originale form, når belastningen fjernes. Hvis polymerkæderne ikke var krydsbundet til et netværk, ville materialet blive permanent deformet ved belastning.

Illustration af et polymernetværk. Før krydsbindingsreaktionen (hærdningen) er polymerkæderne frie (tv.). Efter krydsbindingsreaktionen, hvor polymerkæderne reagerer med krydsbindermolekyler, er kæderne fastlåst i et netværk (th.). Materialet har nu helt andre egenskaber end før.

Et netværk dannet med en ny type krydsbindermolekyler, hvor molekyler med høje dielektriske konstanter (lilla ellipser) kan påsættes direkte i krydsbindingspunktet. På denne måde forhøjes materialets dielektriske egenskaber, samtidig med at sammenklumpning af partikler undgås fuldstændigt.



A. En DEAP med sammenklumpede partikler, der danner en elektrisk ledende vej gennem materialet, hvilket vil føre til elektrisk nedbrud.

B. DEAP-materiale med ledende PANI-partikler med en ikke-ledende skal omkring. Den isolerende skal forhindrer elektriske ledende veje gennem materialet. Når en spænding sættes til elektroderne, vil PANI-partikler blive polariseret og materialets dielektriske egenskaber øges på denne måde.

Forlængning

Ligningen for forlængning (aktivering) viser, hvilke parametre man kan skrue på, hvis man ønsker et polymermateriale med bedre egenskaber

til brug i DEAP-teknologi:
$$s = \frac{\epsilon_r \epsilon_0}{Y} \left(\frac{U}{d} \right)^2$$

Her er s = den relative forlængning, U er den elektriske spænding og d er tykkelsen på polymerfilmen. Y kaldes

Young's modul, og det er en størrelse, som angiver hvor blødt polymermaterialet er. ϵ_r er den relative dielektriske konstant for materialet og den fysiske konstant $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F/m er vakuum permitiviteten som er den dielektriske konstant for det tomme rum.

Det fremgår af ligningen, at en forhøjelse af materialets dielektriske konstant, ϵ_r , har en direkte indflydelse på forlængningen, s , og den elektriske spænding, U .

Læs mere

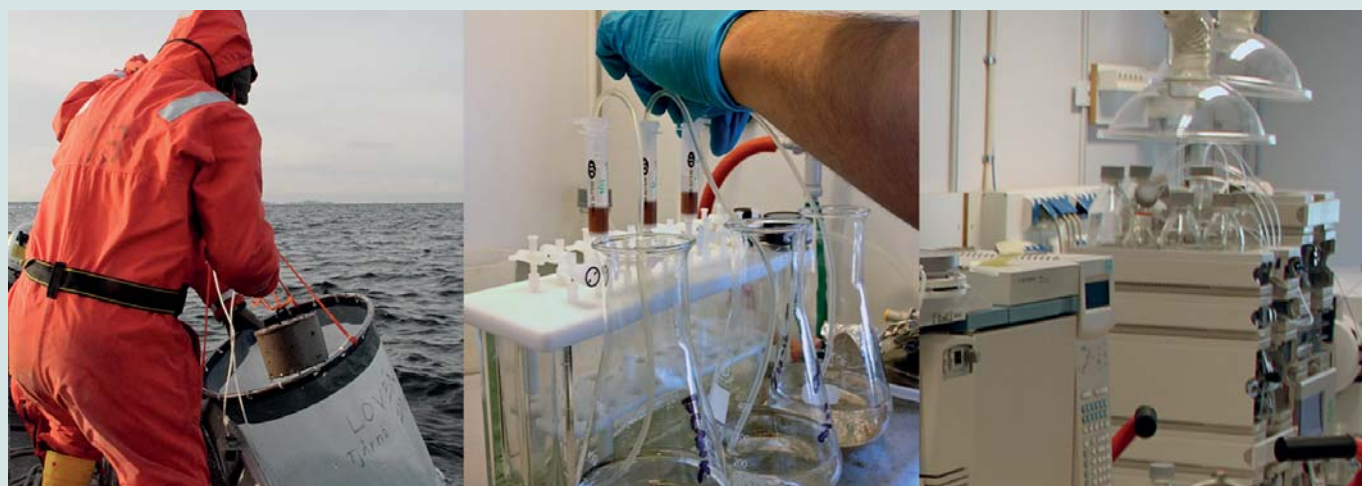
www.wavestarenergy.com

www.ucdmc.ucdavis.edu/welcome/features/20100217_artificial_muscle/

Heydt, R.; Kornbluh, R.; Eckerle, J.; Pelrine, R. Proceedings of SPIE 2006, 6168, 61681M-1.

Hassounah, S. S.; Vudayagiri, S.; Yu, L.; Junker, M.; Hansen, U.; Skov, A. L. Dansk Kemi 2012, 93, 22-24.

Madsen, F. B.; Daugaard, A. E.; Hvilsted, S.; Skov, A. L. Dansk Kemi 2012, 93, 48-51.

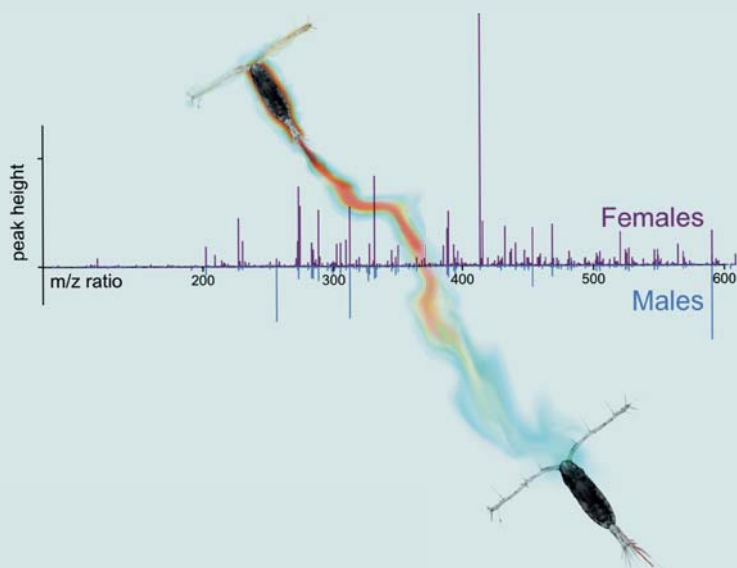


Fotos: Erik Selander

Metabolomics – at finde nålen i høstakken

Metabolomics er en betegnelse for en metode til systematisk at undersøge det kemiske fingeraftryk – eller mere præcist de stoffskifteprodukter (metabolitter) – som specifikke processer efterlader i en organisme. Metoden er oprindeligt udviklet til brug i medicinsk forskning, og i princippet måler man alle de stoffer, man kan finde i fx blodet eller i væv. Specifikke stoffer adskilles ved hjælp af følsom massespektrometri, og hvert stof giver et udslag på en kurve. Derefter undersøger man hvilke af de mange stoffer, der forekommer sammen med en sygdomstilstand.

Biologer anvender metoden til at tyde havets kemiske sprog. Først indsamles vandløpper med planktonnet i havet. Hanner og hunner fordeles i flasker med rent havvand, og over natten filteres vandet løbende for at opsamle udskilte stoffer til analyse på massespektrometer. Det resulterende spekter viser, at der er nogle stoffer som kun hunner udskiller. Disse stoffer er mulige feromoner. Dette afgøres ved at undersøge, om stoffet tiltrækker hanner. Endelig skal stoffet eller stofferne identificeres kemisk. Det er en meget lang og omstændelig proces.



Havets dufte

Havets mindste beboere – bakterier, planteplankton og dyreplankton – orienterer sig i et kemisk landskab af dufte. Alle udskiller de kemiske stoffer, som bruges til at finde mad, sexpartnere eller til at undgå fjender. Forskere arbejder på at tyde mikroorganismernes kemiske sprog og sanseverden.

Havets plankton lever i en blind verden. De mikroskopiske planktonorganismer er for små til at have øjne, der kan danne billeder. Ganske vist er der mikroorganismer, der har noget som ligner øjne, men de kan højst danne et billede på nogle få pixels. Det er nok til at skelne lys og mørke, men utilstrækkeligt til effektiv orientering og kommunikation. Men havets mikroorganismer klarer sig fint alligevel. De "taler" med hinanden ved hjælp af kemiske signalstoffer, og de finder føde og undgår fjender ved at udnytte kemisk information. Planktonalger bliver således giftige eller ændrer adfærd, hvis der er græssere til stede, vandloppe-hanner finder hunner ved hjælp af feromoner, og bakterier bekæmper konkurrenter med antibiotika. Den karakteristiske duft af hav, som vi alle kender, skyldes primært dimethylsulfid ($\text{CH}_3)_2\text{S}$, der udskilles af alger. Vi er så småt begyndt at forstå planktonets sanseverden, og der er efterhånden mange fascinerende eksempler på kemisk kommunikation og kemisk krigsførelse blandt havets mindste beboere. Og der er et stort anvendelsespotentiale i de involverede stoffer. Det har imidlertid vist sig vanskeligt at isolere og identificere de stoffer planktonorganismer bruger, men nye kemiske metoder viser vejen frem.

Kiselalgernes sex-feromoner afluret

Lad os tage nogle eksempler. Kiselalger er encellede planktonalger, der er indesluttet i en kiselskal, og de har interessante livscyklusser. De blom-

strer i vore farvande typisk om foråret, og de former sig ved simpel celledeling. Men engang imellem har de kønnet formering. I Napolibugten har en forskergruppe omkring Marina Montresor på Stazione Zoologica i Napoli således for nylig vist, at kiselalger af slægten *Pseudo-nitzschia* har koordineret sex præcist hver andet år. Det med koordinationen er vigtigt, fordi det øger sandsynligheden for at møde en sexpartner. Husk på, at vi taler om mikrometerstore (små!) celler, der skal finde hinanden i en stor 3-dimensionel verden.

Man har længe ment, at sex-feromoner var involveret, fordi det dramatisk øger cellernes mulighed for at finde hinanden. Nu er det lykkedes en tysk gruppe omkring kemikeren Georg Pohnert ved Friedrich Schiller Universitetet i Jena at bevise dette, og ved hjælp af en metode til systematisk at analysere stofskifteprodukter (*metabolomics*) har de identificeret feromonet hos en kiselalge. Metoden er i princippet enkel: Der er to celletyper, nogle der svømmer (hanner) og nogle, der ikke gør (hunner). Hunnerne producerer et stof, der tiltrækker hanner. Ved at sammenligne profiler af alle de mange tusinde stoffer, som hanner og hunner producerer, kan man finde feromon-kandidater, som er de stoffer kun hunnerne producerer. Disse kan efterfølgende afprøves ved at undersøge, om de tiltrækker hanner. Og med held og dygtighed kan man så kemisk identificere det aktive stof. Det er nu for første gang lykkedes for Pohnert og hans medarbejdere.

Forfattere



Thomas Kiørboe, professor, centerleder, Centre for Ocean Life (VKR Center of Excellence), DTU-Aqua. tk@aqua.dtu.dk



Jan Heuschele, ph.d., postdoc, Centre for Ocean Life, DTU-Aqua.

janheuschele@gmail.com



Erik Selander, ph.d., postdoc, Centre for Ocean Life, DTU-Aqua og Göteborgs Universitet.

erik.selander@bioenv.gu.se

Vandloppernes sexliv

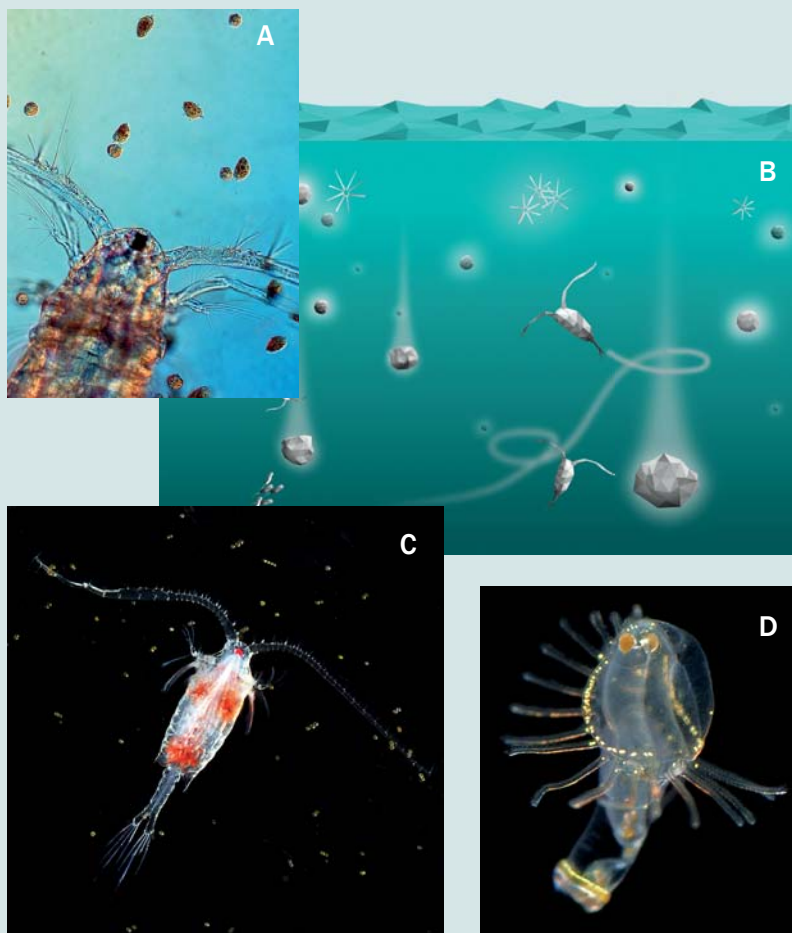
Det meste dyreplankton har sex i hver generation, og her har man i mere end 100 år vidst, at der for nogle arter var sex-feromoner involveret, men flere forskergrupper har nu intensiveret studiet af sex-feromoner hos vandlopper. Vi har fx fundet, at hunner af mm-store vandlopper kan afsætte et duftspor i vandet, som leder hannerne til hunnerne. Afhængig af hvordan duftsignalet spredes af hunnen, kan det give anledning til en fascinerende adfærd hos hannen, der enten ræser op langs et aflangt spor for at finde hunnen, eller han gennemfører noget, der ligner en parringsdans, i den duftsky en hun kan omgive sig med. Det er klart, at duftsignalerne øger hannens mulighed for at finde hunner op mod 200 gange, har vi beregnet. Og duftsignalet informerer også om hunnens tilstand – nogle hanner reagerer mere begejstret på en jomfru end på en ældre frue. Ved at studere hannens adfærd kan vi sige noget om de kemiske egenskaber ved feromonerne. For det første er de ikke meget artsspecifikke: Hanner forfølger ikke kun hunner af egen art, men også af beslægtede arter. For det andet er de involverede molekyler antageligvis små – det er det mest økonomiske. Ved hjælp af metabolomics forsøger vi nu at identificere sex-feromoner hos vandlopper. Men det er ikke nødvendigvis en nem opgave, for der kan være mange stoffer involveret. Sex-feromoner hos

møl består for eksempel af en blanding af tre molekyler. Indtil videre har vi identificeret ca. 30 kandidat-molekyler hos tre arter.

Duftspor leder frem til føden

Dyreplankton kan også følge kemiske spor, når de leder efter føde. Det er velkendt, at hajer kan spore blod på lang afstand, og at bundlevende krabber vandrer opstrøms, hvis de får fært af føde. Kemisk fødesporing blev første gang påvist hos en pelagisk invertebrat, en reje, af amerikaneren Bill Hamner fra University of California, Los Angeles, da han dykkede under sit forskningsfartøj. Han observerede, hvordan rejer fulgte i sporet efter synkende, uidentificerbare organiske aggregater og koloniserede og åd disse, og han kunne vise, at de fulgte et kemisk spor. Aggregaterne viste sig i øvrigt at stamme fra en søsyg bådsmand, der havde brækket sig ud over rælingen – ifølge rapporten i *Science*.

Vi har netop vist, at zooplankton på tilsvarende måde kan følge det kemiske spor som mm-store aggregater – såkaldt "Marin sne" – efterlader, når de synker gennem vandet. Havet er en ernæringsmæssig ørken for zooplankton, idet koncentrationen af deres føde, planktonalger, er meget lav. Men ind i mellem aggregerer algerne og bliver til "snefnug", som er attraktive kaloriebomber for det



Vandlopper i fødekæden (A)

Lugten af en vandloppe (*Acartia tonsa*) inducerer giftighed i dinoflagellaten (*Alexandrium*) og gør den uspiselig. Partiklerne omkring vandloppen er celler af dinoflagellaten. Giftstofferne kan også ophobes i muslinger og give anledning til alvorlige forgiftninger.

Alting lugter (B)

Havet er sprængfyldt af små organismer, fra bakterier og vira til planktonalger og dyreplankton. Alle udskiller de kemiske stoffer – lugte – og de lidt større efterlader en hale af duft. Havets små, blinde organismer orienterer sig i dette kemiske landskab for at finde mad og sex, og for at undgå fjender.

Vandloppe (C)

Billedet viser en vandloppe, der er omgivet af celler af alger (dinoflagellater). Nogle af dinoflagellaterne har koblet sig sammen i kæder, og dermed kan de bevæge sig hurtigere. Når dinoflagellaterne lugter en vandloppe kan de enkelte eller koble sig af kæden og dermed mindske chancen for at blive ædt af vandloppen.

Havets vuggestue (D)

De frie vandmasser er opvækstplads for larver af mange bundlevende dyr, her f.eks. larven af et bundlevende ormeligende dyr Phoronis. Mange larver benytter kemisk information til at finde det rette sted at slå sig ned, når de skal etablere sig på havbunden.

Fotos: Erik Selander, Tegning: Jan Heuschele

hungrende zooplankton. Det kemiske spor dannes, fordi bakterier nedbryder snefnugget og derved taber opløst organisk stof, som tegner et kemisk spor i vandet efter det synkende fnug.

Kemisk forsvar

Planktonorganismer udnytter også kemisk information til at undgå at blive ædt. Det har længe været kendt, hvordan dafnier i ferskvand gemmer sig i dybet, hvis de kan lugte fisk. Men det er nyt, at planktonalger også kan ændre deres adfærd, når de lugter dyreplankton. Mange alger danner kæder af sammenlængede celler. Vi ved ikke altid, hvorfor de gør det, hvad fordelene er. Men nogle dinoflagellater foretager vandringer i havet: De svømmer mod overfladen om dagen for at høste lys til fotosyntesen, og de svømmer ned i dybet om natten for at samle næringsstoffer, som forekommer rigeligt her. På den måde kan alger, der måler blot 25 mikrometer (tusindedele mm), vandre 10 m op og ned hver dag. På menneskeskala svarer det nogenlunde til en tur fra København til Skagen og tilbage igen – hver dag. Det er de kun i stand til, hvis de kobler sig sammen i kæder og forener deres kræfter i at svømme hurtigt: Celler i kæder svømmer en halv gang hurtigere end enkelte celler. Men det har en pris, idet det er nemmere for en vandloppe at finde en cellekæde end en enkelt celle. Vi har nu vist, at dinoflagellaterne kobler sig af kæden, hvis de kan lugte vandloppe. Det samme gør visse kiselalger. Andre arter igen begynder at producere giftstoffer, hvis de lugter vandloppe, for derved at undgå at blive ædt. Vi har nu (næsten) identificeret det molekyle, vandlopperne udskiller, og som algerne reagerer på. Vi ved ikke, hvad formålet med molekylet er, men det er helt sikkert ikke at advare byttet.

Kampstoffer som evolutionær strategi

Kemisk krigsførelse synes i det hele at være almindelig blandt havets mikroorganismer, men det er ikke altid forstået, hvordan det evolutionært er opstået hos planktonorganismer. Bakterier elsker at sidde på overflader, fx på marin sne, og fasthæftede bakterier sidder ofte i grupper, hvor alle naboer er genetisk identiske, dvs. er kloner. Hvis enkelte bakterieceller udskiller kampstoffer for at hindre andre arter i at kolonisere det forsvarede område, er det til gavn for alle de fasthæftede celler. Det er en evolutionær stabil strategi, fordi de alle er genetisk identiske. Men hvad med fritsvævende planktonalger? De kan ligeledes udskille kampstoffer, og hvis en enkelt planktonalge gør det, vil det også gavne de naboer, der tilfældigvis er i nærheden. Forskergruppen i Napoli har undersøgt slægtskabsforholdene mellem algeceller af samme art, der optræder i samme vandmasse, og det tyder ikke på, at der er nært slægtskab mellem cellerne. Hvis det er omkostningsfyldt at producere kampstoffer, vil der opstå snydere – dvs. individer, der sparer udgif-

terne og nasser på de andre. Snyderne vil få overtaget, fordi de kan øge investeringen i reproduktion. Det er populært sagt det, man kalder "tragedy of the commons" og kampstoffer er ikke en evolutionær stabil strategi. Der mangler derfor stadig en forklaring på fænomenet. Noget andet er kampstoffer, der forbliver i cellen og forhindrer dyreplanktonet i at æde cellen – her er det producenten selv, der høster fordelene.

Erkendelse og forretning

Havets mindste organismer er også de mest betydningsfulde. Mere end 90 % af de biologiske processer i havet skyldes organismer, der er mindre end 1 mm store. De er af betydning for det globale klima, og deres produktion er grundlaget for fiskebestandene. Vi vil gerne udvikle modeller af marine økosystemer for at kunne vurdere effekter af miljø- og klimaændringer. De fundamentale vekselvirkninger mellem havets mindste organismer styres, som det er fremgået, i vid udstrækning af kemiske signaler og informationer. Korrekte modeller forudsætter en korrekt forståelse af de grundlæggende mekanismer. Derfor vil vi gerne kunne tyde mikroorganismernes kemiske sprog og sanseverden.

Der er tillige store kommercielle interesser i at forstå, identificere og udnytte havets kemiske signaler. Antibiotika og sygdomsbekæmpelse er velkendt og et kolossalt forskningsfelt, efterhånden også når det gælder marine organismer. Der er et stort uudnyttet potentiale i aktive stoffer fra planktonalger. Og vi forsøger at identificere sex-feromoner hos vandloppe for at effektivisere kultiveringen af dem. Det er akvakultur-industrien meget interesseret i, fordi levende vandloppe er det bedste startfoder for fiskelarver.

Læs mere

Gillard, J. et al. (2013) Metabolomics Enables the Structure Elucidation of a Diatom Sex Pheromone. *Angewandte Chemie – International Edition*. 52 (2): 854-857 DOI: 10.1002/anie.201208175

Lombard, F. et al. (2013) Copepods use chemical trails to find sinking marine snow aggregates. *Limnol. Oceanogr.* 58: 185-192

Sarno, D. et al. (2010) A massive and simultaneous sex event of two *Pseudo-nitzschia* species- Deep-Sea Res. Part II. 57: 248-255

Selander, E., Jakobsen, H. H., Lombard, F. and Kiørboe, T. (2011). Grazer cues induce stealth behavior in marine dinoflagellates. *PNAS*, 108: 4030-4034.



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

Se videoer på internettet

1. Hvordan kiselalgeferomoner tiltrækker hanceller.
2. Hvordan copepoder udnytter sexferomoner:
www.int-res.com/articles/suppl/blind-dating/
3. Hvordan copepoder forfølger kemiske spor fra synkende aggregater (video 2).



1.



2.



3.

Systemøkologi

Systemøkologi fokuserer på, hvordan økosystemer fungerer, og er derfor et vigtigt værktøj i miljøforvaltningen.

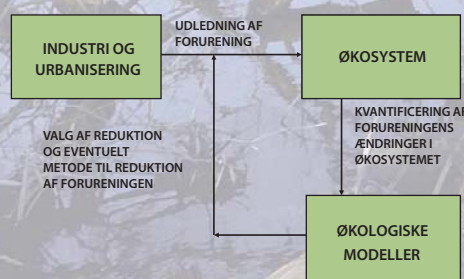
Den første grønne bølge startede i 1962 med Rachel Carsons bog *Det tavse Forår*. Forurening blev et centralt problem, som vi skulle løse på linje med en række andre samfundsproblemer. I 1970 var jeg til en miljøkonference i USA, hvor sloganet var "zero discharge 1985". Man troede naivt, at man ved hjælp af miljøteknologi kunne løse alle forureningsproblemerne i løbet af 15 år. Sådan gik det som bekendt ikke. Konfronteret med virkelighedens forureningsproblemer blev man hurtigt klar over, at det ville være alt for dyrt for samfundet at rense alt røg, skrald og spildevand 100 %. Men hvor meget skulle man så rense for at sikre, at naturen (omgivelserne) ikke tog skade, men blev bevaret nogenlunde intakt? Spørgsmålet krævede viden om, hvad der sker med de forurenende stoffer i naturen, og hvordan de influerer på økosystemets komponenter og processer. Økosystemer er imidlertid meget komplekse, så det var nødvendigt at se helheden, dvs. se på systemet, gennem de mange detaljer. Det er fx nødvendigt at se skoven som et system, der indeholder mange træer, buske, planter og dyr. Det gav starten til en hel ny økologisk disciplin, *systemøkologi*, der fokuserer på hvorledes økosystemerne fungerer. Den blev hurtigt og intensivt anvendt ved opbygning af de første økologiske modeller, der blev anvendt til miljøforvaltning. Med en økologisk model som værktøj kan man

finde, hvor meget man skal reducere forureningen for at opnå en given miljøkvalitet.

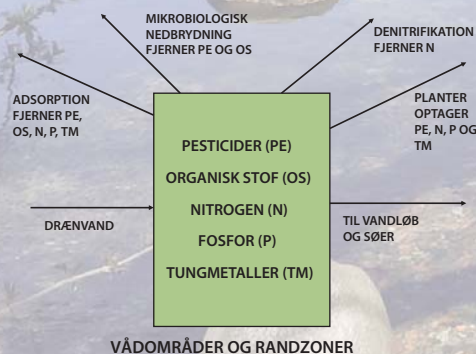
Landbrugets forurening udfordrer systemøkologien

Alle økosystemer er åbne systemer, og derfor er de sårbare over for forurening. Landbruget anvender store mængder af gødning og pesticider, som uundgåeligt vil påvirke økosystemerne. Udledningen fra landbruget er tillige diffus – den kommer ikke koncentreret et sted, men er spredt over store arealer. Hvordan kan man løse diffuse forureningsproblemer? Man kan fx give påbud om at anvende mindre mængder pesticider eller forbyde de mest miljøfarlige pesticider. Man kan også anvende naturens egne metoder. Økosystemer kan nemlig håndtere en vis mængde gødningsstoffer og pesticider, ja selv tungmetaller.

Især vådområder er gode til at håndtere forurenende stoffer: Ved hjælp af mikroorganismer laves nitrat om til frit kvælstof, der findes i stor mængde i atmosfæren i forvejen (nitrat + organisk stof → dinitrogen + kuldioxid + vand). Fosfater kan adsorberes af planter og jord, og organisk forurening inklusive pesticider nedbrydes mikrobielt. Ved at lade landbrugets drænvand gå igennem naturlige eller konstruerede vådområder kan man således løse



Figur 1: Emission (udledning) fra industri og bebyggelse forårsager uønskede ændringer i økosystemerne. Økologiske modeller udvikler en kvantitativ sammenhæng mellem emissionen og de (uønskede) virkninger på økosystemerne ved anvendelse af systemøkologi. Med økologiske modeller kan man derfor finde størrelsen på den emission, der giver acceptable ændringer i økosystemerne.



Figur 2: Vådområder og overgangszoner (såkaldte økotoner) kan fjerne pesticider, tungmetaller, fosforforbindelser, organisk stof og kvælstofforbindelser fra landbrugets drænvand. 1 ha vådområde kan fjerne i størrelsesorden 10-40 kg kvælstof og 1-4 kg fosfor.

Figur 3: Grafen viser eutrofieringen (målt fx ved koncentrationen af klorofyl, der stammer fra alger/fytoplankton) mod koncentra-

Forfatter



Sven Erik Jørgensen, professor emeritus ved Københavns Universitet
msijapan@hotmail.com

- en ny økologisk disciplin

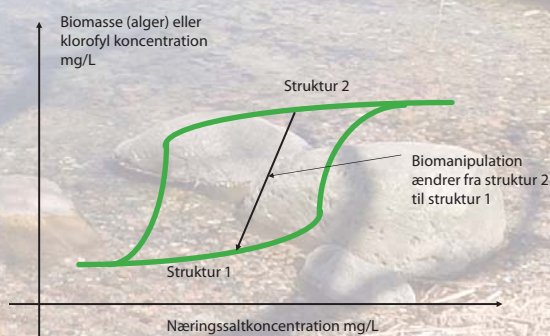
mange af landbrugets forureningsproblemer.

Det kræver imidlertid, at vi kender vådområdernes systemøkologi, for at vi kan beregne, hvor store arealer vi skal reservere til denne rensning. Ligeledes må vi forstå vådområderne som økosystemer, der har begrænset kapacitet og en vis sårbarhed. Det har vist sig muligt ved hjælp af, hvad man kalder økoteknologi og økologiske modeller, der begge bygger på systemøkologisk viden, at finde frem til hvilke arealstørrelser af naturlige eller konstruerede vådområder, der skal anvendes for at løse de diffuse miljøproblemer.

Restaurering af økosystemer

Mange økosystemer er i større eller mindre grad blevet ødelagt af forurening. Takket være økoteknologi og systemøkologi er det i mange tilfælde blevet muligt at reparere på skaderne – fx ved at rense giftgrunde med planter eller mikroorganismer. Især i forbindelse med restaurering af søer har man anvendt systemøkologi.

Kraftig algevækst på grund af overgødskning (eutrofiering) er et meget alvorligt forureningsproblem for mange af vore søer. Dynamikken i eutrofiering er, at koncentrationen af alger kun vokser langsomt i begyndelsen i takt med at koncentrationen



tionen af det næringssalt, der begrænser algevæksten (fx fosfor). Grafen viser, at der i et bestemt interval af næringsstofkoncentration er to mulige strukturer. Den nederste del svarer til, at zooplankton og rovfisk dominerer søen, mens det øverste niveau svarer til, at fytoplankton og små fisk dominerer søen. I dette interval kan man markant reducere eutrofieringen ved at opfiske de små fisk og udsætte rovfisk (biomanipulation).

Furesøen, hvor en kombination af biomanipulation og iltning af bundvandet blev anvendt til at restaurere søen i 2004-2008. Restaureringen har øget sigtedybden fra godt 2 meter til godt 3 meter og blomstringen af blågrønalger i august måned er næsten forsvundet.

nen af gødning øges (se figur 3). På et tidspunkt når man en koncentration af alger, hvor zooplankton, som lever af algerne, ikke kan følge med længere. Og så stiger eutrofieringen kraftigt. Hvis udviklingen derefter vender, og koncentrationen af gødning begynder at falde igen, vil man opdage, at udviklingen ikke følger den samme kurve tilbage igen. I stedet forbliver eutrofieringen på et højt niveau, og koncentrationen af alger falder først betydeligt, når koncentrationen af gødning har nået et markant lavere niveau. Årsagen til dette forløb er, at det lave eutrofieringsniveau svarer til én struktur i søen, mens den høje eutrofiering svarer til en anden struktur. Fødekæden har fire led: alger (fytoplankton), zooplankton, små fisk og rovfisk. Ved det lave eutrofieringsniveau dominerer zooplankton og rovfisk, mens alger og små fisk dominerer ved det høje niveau.

Hvis fosfor er det gødningsstof, som begrænser algevæksten, findes de to strukturer mellem cirka 60 og 120 µg P/L – men værdierne er selvfølgelig også afhængige af andre forhold i søen. Der er i dette interval derfor to mulige strukturer til at videreføre søens udvikling. Udgangspunktet eller søens historie afgør, hvilken af de to (nogenlunde lige gode) muligheder, der vinder. I dette interval – fra ca. 60 til ca. 120 µg P/L – kan man restaurere søen ved at fremtvinge en situation, hvor zooplankton og rovfisk dominerer (se figur 3). Denne metode kaldes biomanipulation. Man fjerner de små fisk ved intensivt fiskeri og der udsættes eventuelt rovfisk (gedder). Metoden har været anvendt med held på Furesøen i perioden 2004-2008 sammen med iltning af bundsedimentet, som bevirker, at fosfor bindes bedre til bundsedimentet. Algevæksten blev godt

og vel halveret ved denne restaurering og blågrøn-alger, som er giftige for badegæsterne, optræder nu kun i en langt mindre koncentration og i betydeligt kortere tid. Sørestaurering kræver som det tydeligt ses af dette eksempel et godt systemøkologisk kendskab.

Systemøkologi hviler på fire søjler

Der er gennem de seneste fyrre år udviklet en god teoretisk basis for systemøkologi, som danner et solidt fundament for anvendelse af økologi til løsning af miljøproblemer. Teorien hviler på fire søjler: termodynamik, biokemi og økologisk støkiometri, hierarkiteori og netværksteori. Den første søjle anvender dels klassisk termodynamik (termodynamikkens første, anden og tredje lov) og dels termodynamik for "langt fra ligevægt systemer" inden for rammerne af systemøkologi. Således anvender man en "oversættelse" af Darwins lov om "survival of the fittest" til termodynamik. Denne oversættelse siger, at et økosystem forsøger at bevæge sig længst muligt væk fra termodynamisk ligevægt, hvor stof-ferne er uorganiske og uden kemisk energi. Det betyder, at økosystemet forsøger at opnå mest mulig arbejdsenergi, som udtrykker biomassen og dens information (svarer til "survival") og dermed afstanden til termodynamisk ligevægt. Økosystemerne anvender i den forbindelse tre vækstformer: vækst af biomasse, vækst af information (flekt mulig forskellige arter med flekt mulige reguleringsmekanismer) og vækst af det økologiske netværk. De to strukturer af søer, som vi kan observere mellem ca. 60 og ca. 120 µg P/L indeholder netop ca. den samme mængde arbejdsenergi og er derfor i overensstemmelse med oversættelsen af Darwins teori til termodynamik.

Tabel 1

Reaktion	kJ/mol e-	ATP's/mol e-
$\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	125	2,98
$\text{CH}_2\text{O} + 0,8\text{NO}_3^- + 0,8\text{H}^+ \leftrightarrow \text{CO}_2 + 0,4\text{N}_2 + 1,4\text{H}_2$	119	2,83
$\text{CH}_2\text{O} + 2\text{MnO}_2 + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{Mn}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	85	2,02
$\text{CH}_2\text{O} + 4\text{FeOOH} + 8\text{H}^+ \leftrightarrow \text{CO}_2 + 7\text{H}_2\text{O} + \text{Fe}^{2+}$	27	0,64
$\text{CH}_2\text{O} + 0,5\text{SO}_4^{2-} + 0,5\text{H}^+ \leftrightarrow \text{CO}_2 + 0,5\text{HS}^- + \text{H}_2\text{O}$	26	0,62
$\text{CH}_2\text{O} + 0,5\text{CO}_2 \leftrightarrow \text{CO}_2 + 0,5\text{CH}_4 \quad \rightleftharpoons$	23	0,55

Forskellige mikroorganismer, der nedbryder organisk stof, kan anvende forskellige oxidationsmidler – men der vindes ikke lige meget energi. Tabellen viser udbyttet i arbejdsenergi – dels i kJ og dels i ATP pr. mol elektroner (svarer til 0,25 mol CH_2O) ved forskellige reaktioner.

Af tabellen fremgår, at de mikroorganismer, der anvender oxygen altid vinder over dem, der anvender nitrat, som vinder over dem, som anvender mangan-dioxid, som vinder over dem der anvender jern (III), osv. Eksemplet viser, hvordan man inden for systemøkologien kan "oversætte" Darwins evolutionsteori til termodynamik.

Tallene i tabellen opnås ved en pH-værdi på 7,0 og en temperatur på 25 °C.

Tabel 2

Hierarkisk niveau	Åbenhed (A/V, m ⁻¹)	Variation (%)	Størrelse (m)	Dynamik g/m ³ s
Molekyler	10 ⁹	100%	10 ⁻⁹	10 ⁵
Celler	10 ⁵	0,01%	10 ⁻⁵	10 ¹
Organer	10 ²	10 ⁻⁵ %	10 ⁻²	10 ⁻²
Organismer	1	10 ⁻⁷ %	1	10 ⁻⁴
Populationer	10 ⁻²	10 ⁻⁹ %	10 ²	10 ⁻⁶
Økosystemer	10 ⁻⁴	10 ⁻¹¹ %	10 ⁴	10 ⁻⁸
Økosfære	10 ⁻⁸	5×10 ⁻¹⁵ %	2×10 ⁷	10 ⁻¹²

Egenskaber for de forskellige niveauer i den hierarkiske orden fra molekyler til økosfæren. Niveauets åbenhed (dvs. overfladeareal i forhold til volumen) er naturligvis den reciprokke værdi af den lineære størrelse (fjerde kolonne). Jo større åbenhed niveauet har, desto nemmere kan niveauet forstyrres af udefrakommende kræfter. Den tredje kolonne viser, hvorledes en forstyrrelse på 100 %'s ændring på det nederste niveau – molekylerne – vil blive dæmpet op igennem niveauerne. Den sidste kolonne viser dynamikken i de enkelte niveauer, forstået som ændring i g pr. m³ pr. sekund.

Miljøforvaltning



Læs mere:

Jordan, F. & Jørgensen, S. E. (2012): Models of the Ecological Hierarchy. From molecules to the Ecosphere. Elsevier. Amsterdam, Oxford. 562 pp.

Jørgensen, S.E. (2012): Introduction to Systems Ecology. CRC Boca Raton. 320 pp.

Jørgensen, S.E. et al (2007): A New Ecology. Systems Perspectives. Elsevier, Amsterdam. 275pp

Jørgensen, S.E. & B. Fath (2011): Fundamentals of Ecological Modelling. 4th edition. Elsevier, Amsterdam, Oxford. 380 pp.

Et andet eksempel, der understøtter oversættelsen af Darwins teori til termodynamik ved hjælp af arbejdsenergi, er, at de mikroorganismer, der vinder ved nedbrydning af organisk stof, er dem med mest arbejdsenergi – målt ved hjælp af mængden af ATP (se tabel 1).

Den biokemiske søjle gør det muligt at opstille næsten støkiometriske ligninger for de biokemiske processer i økosystemerne. Hierarkisøjlen bygger på den hierarkiske orden: molekyler – celler – organer – organismer – populationer (af forskellige arter) – økosystemer – landskaber – regioner – økosfæren = den del af jorden, der bærer liv. Det kan vises i systemøkologisk sammenhæng, at denne opbygning har en række fordele. Byggesten i de lavere niveauer af hierarkiet kan nemt udskiftes, de enkelte niveauers dynamik er afpasset til komponenternes størrelse, åbenhed til omgivelserne og dermed sårbarhed (se tabel 2). Den hierarkiske opbygning betyder endvidere, kan det vises, at udefrakommende forstyrrelser dæmpes, og dæmpningen er større, jo større biodiversiteten er. Dette sidste er et vigtigt systemøkologisk resultat, fordi det tidligere blev diskuteret, om biodiversitet overhovedet er en vigtig egenskab for et økosystem. I dag er det fastslået,

at biodiversitet er overordentlig vigtigt for, hvordan økosystemer kan klare en forurening.

Endelig har netværksteorien vist, at økosystemernes opbygning i netværk er vigtig, fordi netværkene betyder, at

- 1) alle de biologisk vigtige grundstoffer kan recirkuleres,
- 2) stoffer og arbejdsenergi udnyttes lang bedre
- 3) konkurrencen mellem arterne svækkes, og samarbejdet styrkes

Fremtiden for systemøkologi

Vi har i dag en rimelig solid systemøkologi, som kan anvendes til miljøforvaltning og til at forklare økologiske observationer. Men teorien vil og skal naturligvis udvikles yderligere i de kommende år, hvorved dens anvendelighed kun vil blive styrket. Jo mere, vi anvender den eksisterende teori, desto mere vil vi opdage dens mangler og finde veje til at rette dem – sådan som det er sket med teorier inden for alle videnskabelige felter. Mit håb er, at vi får så stærk en teori om ti, tyve eller tredive år, at vi kan beregne konsekvenserne af en mulig forurening, før den bliver virkelighed og på den måde forhindre mange miljøulykker. ■

Kønsforvirring

Hver dag udsættes vi for en lang række stoffer, som kan forstyrre den naturlige hormonbalance. Hormonforstyrrende stoffer i miljøet anses i dag som et af de største miljøproblemer, og mange forskere arbejder med at klarlægge effekterne på mennesker og dyr.



Foto: Per Guldhammer Henriksen



Forfatter

Katrine
Bilberg
Hansen,

biolog, ph.d.
gymnasielærer
kat_bilberg@hotmail.com

I 1980'erne observerede man en kraftig nedgang i bestanden af alligatorer i Apopka-søen i Florida. Nyklækkede alligatorer viste sig overvejende at være hunner, hvis niveau af det kvindelige kønshormon østrogen var næsten fordoblet. De få han-alligatorer, der blev udklækket, havde mindre penis end normalt, og deres niveau af det mandlige kønshormon testosteron var fire gange lavere end normalt. Årsagen til misæren var et udslip af stoffet DDT (Dichlorodiphenyltrichloroethane). Eksemplet står i dag som lidt af en klassiker på konsekvensen af udledning af hormonforstyrrende stoffer til miljøet.

Hormoner er kroppens kemiske signalstoffer, og er et af kroppens to interne kommunikationssystemer (det andet er nervesystemet). Kønsvækning, forplantning, stofskifte, væskebalance og adfærd kontrolleres bl.a. af hormoner. Hos alle hvirveldyr medvirker kønshormoner til at regulere kønsvækningen og forplantningsevnen. Kemisk set er kønshormonerne næsten ens opbygget, og både kvinder og mænd producerer østrogen og testosteron. Forskellen i mængden af de to hormoner spiller derfor en afgørende rolle i kønsforskellen mellem de to køn. Og da hormonsystemet er meget følsomt, skal der i princippet ikke så meget til for at forskyde den normale hormonbalance og dermed lave rod i fx kønsvækningen og forplantningen.

Hormonforstyrrelse hos mennesker

Et klassisk eksempel på effekten af hormonforstyrrende kemikalier hos mennesker er det kunstige hor-

mon DES (diethylstilbestrol). I perioden 1940-70 indtog millioner af gravide kvinder "mirakelmidlet" DES for at undgå komplikationer under graviditeten. Midlet havde desværre en grim effekt på det ufødte foster, idet det i 1971 blev vist, at døtre af disse kvinder fx kunne udvikle en sjælden kræfttype i kønsorganerne, mens der blandt sønnerne blev observeret flere tilfælde af ufuldstændig dannelse af kønsorganerne og lavere sædcelletal end normalt.

Sagen var for alvor med til at afsløre problemet med, at visse naturlige og menneskeskabte stoffer kan efterligne effekten af hormoner og derved forstyrre hormonbalancen hos dyr og mennesker. I takt med, at eksemplerne har hobet sig op, er bekymringen steget, og siden 1990'erne har der været international fokus på hormonforstyrrende stoffer. På trods af megen forskning er det dog i dag stadig begrænset, hvad vi ved om hormonforstyrrende effekter af de mange kemikalier, vi udsættes for i dagligdagen. Vi ser i øjeblikket en stigning i forekomsten af forskellige former for sygdomme relateret til hormonsystemet. Fx er der flere og flere tilfælde af medfødte misdannelser af kønsorganer hos drenge, flere tilfælde af nedsat sædkvalitet og øget forekomst af testikelkræft. Samtidig kan man i dyreforsøg observere, hvordan visse kemikalier i høje doser kan give de samme forandringer, som ses klinisk.

På DTU Fødevareinstituttet forsker professor Anne Marie Vinggaard og professor Ulla Hass i hormon-

forstyrrende effekter på pattedyrceller og i rotter. Det er specielt kemikalier, der er i stand til at blokere for testosterons effekt eller nedsætte produktionen af testosteron, som er i søgelyset. Disse såkaldt "antiandrogene" kemikalier kan forårsage misdannede kønsorganer og dårlig sædkvalitet i rotter – nøjagtig de symptomer, der ses en stigning i hos nyfødte drenge og unge mænd. Derfor er de hormonforstyrrende stoffer under kraftig mistanke for at være skyld i danske mænds dårlige sædkvalitet. Siden 1940 er sædkvaliteten således faldet med 50 % herhjemme.

En undersøgelse udgivet i 2013 af en forskergruppe på Dansk Ramazzini Center, Arbejdsmedicinsk Klinik ved Aarhus Universitetshospital, har vist, at voksne mænd hvis mødre under graviditeten var udsat for høje niveauer af stoffet perfluorooctancarboxylat (PFOA), har lavere sædkoncentration og total sædcelleantal end normalt. Forskerne bag undersøgelsen mener, at der potentielt kan være en sammenhæng mellem sædkvalitet og udsættelse for perfluorede forbindelser i fostertilstanden. Det perfluorede stof PFOA bruges i produktionen af fluorotelomere, der anvendes i fødevareemballage samt tekstilimpregneringsmidler, fordi de er fedt- og vandafvisende. Man er endnu ikke helt klar over kilderne til eksponeringen for PFOA, men man regner blandt andet kosten for at være en betydelig kilde.

Tidlig pubertet

Ved Afdelingen for Vækst og Reproduktion, Rigshospitalet, forsker professor Anders Juul og kolleger blandt andet i tidlig pubertet. I perioden 1991 til 2007 er danske piger kommet et år tidligere i puberteten, mens drengenes pubertet er begyndt fire måneder tidligere. Puberteten reguleres af kønshormoner, men hvorfor pubertet er blevet forskubbet er stadig en gåde for forskerne. Hormonforstyrrende stoffer og fedme kan være forklaringen. Dette undersøger forskerne i en unik langtidsundersøgelse af ca. 200 københavnske børn, som undersøges hver 6. måned mht. deres brystudviklingsstadium (piger) og testikelstørrelse (drenge), ligesom der tages blodprøver hver 6. måned til bestemmelse af kønshormonniveauer. Undersøgelsen har foreløbig været i gang i 5 år.

Endnu ved man ikke, om det fx er helt ufarligt, at kvinder får bryster tidligere, eller om det hænger sammen med det stigende antal tilfælde af brystkræft blandt danske kvinder.

Endestation: Vandmiljøet

Vandmiljøet er sidste stoppested for både hormonforstyrrende stoffer og naturlige hormoner, der udledes fra industrien, afløb fra landbruget og vores spildevand. Derfor er det også i vandmiljøet, man kan finde flest eksempler på, at organismer er påvirket af hormonforstyrrende stoffer.

Et kendt eksempel er Tributyltin (TBT), der tidligere blev brugt som bestanddel i bundmaling på skibe. Det viste sig, at TBT løbende blev frigivet fra bundmalingen, og hunner af havsnegle, der blev udsat for stoffet, udviklede maskuline træk som penis og sædleder. Siden 2008 har det været forbudt at anvende TBT i bundmaling. Som følge heraf har man heldigvis observeret et fald i antallet af tvekönnede snegle.

I slutningen af 1980'erne opdagede britiske forskere, at i svært forurenet vandløb var op til 5 % af bestanden af skaller tvekönnede (dvs. der var både æg og sædceller i samme fisk). Årsagen var østrogener fra spildevandet. Herhjemme undersøgte professor Poul Bjerregaard og medarbejdere fra Biologisk Institut, Syddansk Universitet i 2001, hvordan det stod til med fiskebestanden i vandløb og søer i Aarhus Amt. De fandt bækørred-hanner med beskadigede sædceller og han-skaller, der producerede blommeprotein. Blommeprotein findes normalt kun i hunfisk, da det bruges til at opbygge æg. I forhold til det engelske studie fandt de dog kun få kønsforstyrrede fisk, sandsynligvis fordi danske rensningsanlæg renser vandet bedre.

Ålekvalber som miljøindikator

I danske farvande blev der i 2009 fundet misdannelser hos ålekvalber, men her er forskere fra Aarhus Universitet (daværende Danmarks Miljøundersøgelser) i tvivl om, hvorvidt forureningen med hormonforstyrrende stoffer er synderen. Postdoc Jane Ebsen Morthorst fra Biologisk Institut ved Syddansk Universitet har i 2011 igangsat et forsøg, hvor hun har udsat drægtige ålekvalber for det naturlige østro-

Cocktail-effekter

Forsøg på DTU Fødevareinstituttet med drægtige rotter viste i 2007, at rotteunger kan fødes med alvorlige misdannelser, hvis drægtige hunrotter udsættes for en kombination af hormonforstyrrende stoffer. Også selvom det sker i koncentrationer, hvor stofferne hver for sig ikke fører til effekter. Konkret undersøgte forskerne fire antiandrogener med forskellig virkningsmekanisme, nemlig vinclozolin (pesticid), prochloraz (pesticid), finasterid (lægemiddel) og DEHP (plastblødgører).

Hos rotteungerne observerede forskerne en reduceret

anogenital afstand (dvs. afstanden fra anus til er pungen), der var brystvorter på hanungerne og vægten af reproduktionsorganerne var nedsat. Alt sammen tydelige tegn på feminisering af de 16 dage gamle unger. Disse effekter blev observeret ved en dosis, hvor de enkelte kemikalier ingen eller kun få effekter havde hver for sig.

Forsøget er et af flere, der peger på, at vi undervurderer risikoen ved kemikalier, hvis vi ikke tager højde for cocktail-effekter.



Drenge født med unormalt udviklet penis (hypospadi) ses hyppigere i dag end for 10 år siden.

Et følsomt system

Hormoner produceres af forskellige kirtler i kroppen, og de transporteres herefter via blodbanen til de specifikke væv eller organer, hvor de skal udøve deres virkning. Fx styrer kroppens naturlige kønshormoner, østrogen og androgener, henholdsvis kvindens menstruationscyklus eller dannelsen af sædceller ved at binde sig til hormonreceptorer, som signal om at sætte produktionen i gang.

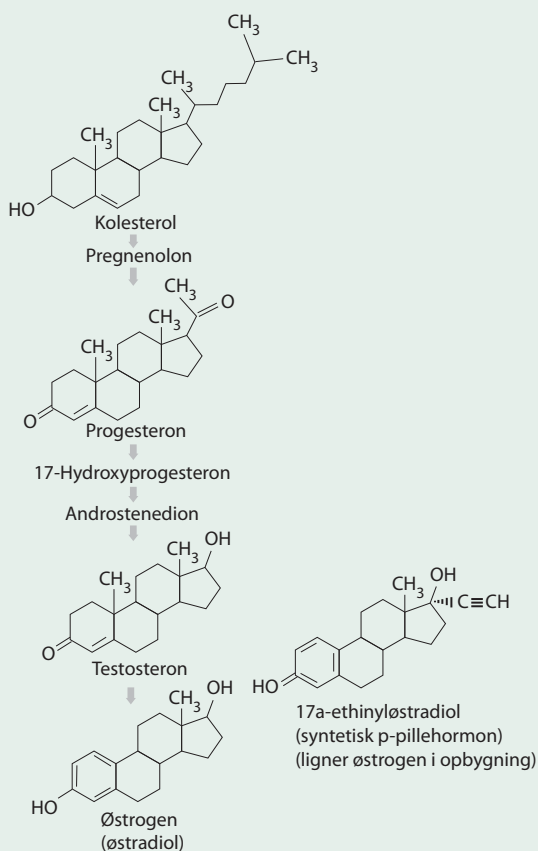
Hormonsystemet hos mennesker og dyr er ekstremt følsomt, hvorfor balancen mellem østrogen og androgener er vigtig. Hormonforstyrrende stoffer er ikke lige potente, så der er forskel på, hvor stor en dosis, der skal til for at påvirke organismer. Fælles for de naturlige kønshormoner er, at ekstremt små doser kan give hormonforstyrrelser. Naturlige østrogen er dog stort set altid mange gange mere potente end miljøkemikalier. Undtaget er lægemidler, som netop er fremstillet med henblik på effektiv virkning fx p-pillehormonet.

Der findes forskellige måder hvorpå hormonforstyrrende stoffer kan påvirke hormonbalancen. Nogle hormonforstyrrende stoffer efterligner de naturlige hormoner og kan binde sig til kroppens hormonreceptorer og derved fx påvirke dannelsen af sædceller. Andre hormonforstyrrende stoffer binder sig til hormonreceptoren uden at sætte en produktion i gang og blokerer dermed for de naturlige hormoner.

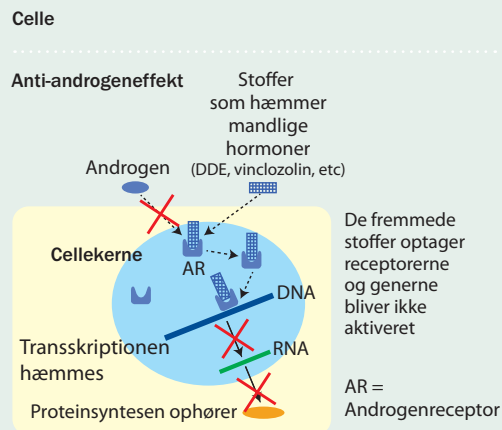
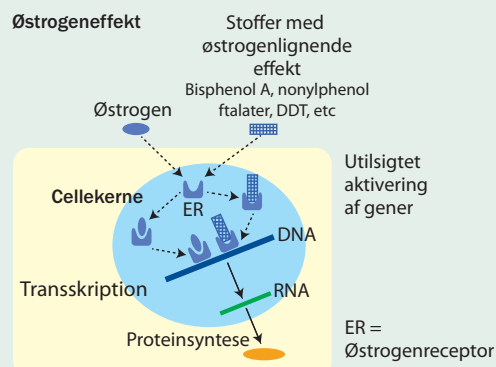
Et hormonforstyrrende stof kan også forstyrre selve dannelsen af de naturlige hormoner eller påvirke transporten af hormoner i kroppen.

Hormonforstyrrende stoffer har meget forskellig omsætningsstid i levende organismer. Ftalater nedbrydes hurtigt i kroppen, hvorefter nedbrydningsproduktet udskilles i urinen. Polyklorerede bifenyl (PCB) er omvendt svært nedbrydelig og ophobes i dyrs fedtvæv og igennem fødekæden. I dag regnes PCB for at være en af de farligste miljøgifte og har blandt andet vist sig at have hormonforstyrrende effekter. Man har tidligere anvendt PCB'ere i byggematerialer, som brandhæmmere eller isolering. Selvom PCB i Danmark blev forbudt til langt de fleste anvendelser allerede i 1976, støder vi stadig på det i dag. Fødevarestyrelsen anbefaler at voksne ikke indtager mere end 200-300 g fed fisk om ugen pga. fiskenes indhold af miljøgifte fx PCB (anbefalingen er lavere for kvinder, der planlægger graviditet, er gravide eller ammer). I 2002 blev kvinder i den fødedygtige alder således advaret mod at spise fisk fra Østersøen, fordi fiskene indeholdt mere PCB end grænseværdien tillod.

Fordi hormonsystemet er relativt ens hos alle hvirveldyr, er det muligt i grove træk at sammenligne fx en fisk, en mus og et menneske. Derfor anvendes fisk og mus ofte til at klarlægge, hvilke stoffer der kan forårsage hormonforstyrrelser samt at undersøge effekter af hormonforstyrrende stoffer.



Det mandlige kønshormon testosteron og det kvindelige kønshormon østrogen produceres i kroppen ved omdannelse af kolesterol i en række trin.



Celle



VÆLG NATURVIDENSKAB FORDI DU BRÆNDER FOR DET

Du får en moderne naturvidenskabelig uddannelse, hvor du kommer dybt ned i dit fag.

- Du vil opleve de andre naturvidenskabelige fagområders bidrag til netop dit fag
- Du vil få mulighed for at indgå i forskningsteams i løbet af uddannelsen
- Du vil allerede i løbet af førsteåret selv prøve kræfter med forskningsprojekter
- Du vil opleve et tæt og sammenhængende studie- og forskningsmiljø

Lidenskab for videnskab



gen 17β -østradiol. Effekterne på ynglen er ved at blive undersøgt, og det lader til, at høje koncentrationer kan forårsage misdannelser som fx krum rygøjle og fire øjne. Ålekvaabben anses for at være en særlig velegnet monitoringsorganisme. Det skyldes, at ålekvaabben lever i samme område hele livet og føder levende unger, så man kan observere effekterne af moderens udsættelse for kemikalier på afkommet.

Forskerne arbejder for tiden på at udvikle testmetoder, som kan afsløre kemikalier med hormonforstyrrende effekter, så brugen af dem kan reguleres og dermed mindske forureningen i miljøet. Mange kemikalier udledes i pulser, så for at få et nøjagtigt billede af vandets renhed, skal man tage vandprøver ofte. En anden mulighed er at bruge indirekte metoder, hvor man kan se effekterne af længere tids forurening, selvom kemikalierne ikke længere er i vandet. Fx er det velkendt, at tilstedeværelsen af blommeprotein hos hanfisk er en indikator for, at fisken har været udsat for hormonforstyrrende stoffer, idet blommeprotein normalt kun findes hos hunfisk. Jane Ebsen Morthorst undersøger nu, om man på samme måde kan screene for hormonforstyrrelser i ferskvandsmuslinger ved hjælp af blommeprotein, og dermed have endnu en miljøindikator til rådighed.

Kemiske stoffer i hverdagen

I vores hverdag er vi i kontakt med tusindvis af menneskeskabte kemiske stoffer. Størstedelen af disse stoffer er aldrig blevet testet for hormonforstyrrende effekter.

Et eksempel på et hormonforstyrrende stof er bisphenol A, som er et syntetisk østrogenlignende stof, der i industrien ofte benyttes til indvendig beklædning af konservesdåser og drikkekartoner. Uheldigvis frigives stoffet til indholdet i dåserne og kartonerne. For at sætte fokus på problematikken spiste fire svenske journalister i 2012 udelukkende dåsemad i tre dage. Niveauet af bisphenol A i journalisternes blod steg så voldsomt (mellem 2800 og 4600 procent), at grænseværdien for anbefalet indtag blev overskredet.

På DTU Fødevareinstituttet er Anne Marie Vinggaards gruppe i gang med at undersøge fem kemikalier, der i dag anvendes som alternativer til bisphenol A. Disse kemikalier har en kemisk struktur, som i høj grad minder om bisphenol A. Undersøgelsen tyder på, at alternativerne ikke er meget bedre, og at de kvalitativt synes at have samme effekter som bisphenol A. Derfor er der i høj grad brug for nye, uproblematiskke alternativer til bisphenol A.

Et andet eksempel er ftalater, der anvendes til at blødgøre plastik. Ftalaterne fordamper langsomt fra plastikken, og derved kan de fx overføres fra plastindpakningen til fødevarer eller små børn kan indtage dem direkte ved at sutte på plastikken. En række ftalater har vist sig at have anti-androgen virkning, hvilket i dette tilfælde betyder, at de hæmmer dannelsen af testosteron i hanfostre, så de ikke udvikler sig normalt.



Zebrafisk på anabolske steroider og p-piller

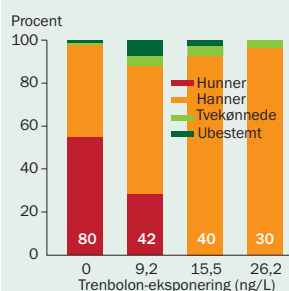
Danske forsøg med zebrafisk og det anabolske steroid trenbolon, understreger problemet med hormonforstyrrende stoffer i miljøet. Trenbolon er en efterligning af testosteron, og det bruges i Australien og USA som væksthormon til kødkvæg. I 2010 viste Jane Ebsen Morthorst fra Biologisk Institut ved Syddansk Universitet og Mia Gruwier Broch-Lips fra Bioscience, Aarhus Universitet sammen med deres kolleger, at hvis man i laboratorieforsøg udsatte zebrafisk for koncentrationer af trenbolon svarende til, hvad man kan måle i nærheden af amerikanske kvægfarme, så var næsten ingen zebrafisk i stand til at udvikle sig til hunner.

Undersøgelsen viste også, at de kønsskiftede fisk reelt var funktionelle hanner, idet de både var i stand til at få zebrafisk-hunner til at lægge æg (hunfisk gyder kun, når de kurtiseres af hanfisk) og til at befrugte æggene.

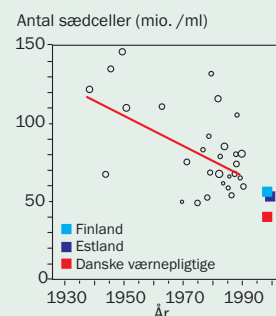
I 2007 blev det vist, at udsættes zebrafisk fra larve til kønsmodenhed for 5 nanogram per liter af det kunstige p-pille hormon 17α -ethinyløstradiol (EE2) udvikler næsten alle zebrafiskene ovarier.

Udsættes zebrafiske hanner derimod for lavere koncentrationer af EE2 (så de ikke skifter køn), har det også konsekvenser. Erik Baatrup og Per Guldhammer Henriksen fra Bioscience, Aarhus Universitet, har for nylig fundet, at selvom der ikke er målbare ændringer i de eksponerede hanners parringsadfærd, så er hunnernes adfærd i forbindelse med parring forskellig i forhold til hunner, som udfører adfærden sammen med ikke udsatte hanner. Det kan tænkes, at feromonudskillelsen eller hannerens sekundære køns karakterer påvirkes af p-pille hormonet. Feromoner og køns karakter spiller ligesom parringsadfærd spiler en vigtig rolle i parringsakten.

Figuren viser andelen af hunner og hanner af zebrafiskeunger, efter at de er blevet udsat for trenbolon i forskellige koncentrationer i 60 dage efter klækning af æggene. I alle tre grupper udsat for trenbolon var kønsfordelingen statistisk signifikant forskellig fra kontrolgruppen. Tvekønnede fisk er fisk, hvor der både er sædceller og ovarier til stede. Tallet i bunden af søjlerne angiver antallet af fisk i hver gruppe.



Figuren viser undersøgelser af sædtal hos mennesker, hvor hver cirkel angiver en undersøgelse og størrelsen af cirklen indikerer antallet af personer i undersøgelsen. Der kan være store individuelle forskelle i de enkelte undersøgelser, og også geografiske forskelle som det fremgår af de seneste undersøgelser i figuren fra omkring årtusindskiftet, hvor tallene var noget lavere hos danske værnepligtige end man så i hhv. Finland og Estland. Har man et tal på under 20 mio. sædceller pr. ml er sandsynligheden for at blive far lav, mens fertiliteten betegnes som "suboptimal" i området mellem 20-40 mio. celler pr. ml.



Figur efter Poul Bjerregaard: Økotoxikologi. Gyldendal, 2010



Udsættes drægtige ålekvarer for høje koncentrationer af det naturlige østrogen 17β -østradiol kan det forårsage misdannelser som fx 4 øjne, krum ryg og spiralryg hos ynglen.

Foto: Jane Ebsen Morthorst og Nanna Brande-Lavridsen.

Sådan undgår du hormonforstyrrende stoffer

Det er nærmest umuligt at undgå hormonforstyrrende stoffer helt i vores hverdag. Men man kan nedsætte eksponeringen ved at følge forbrugerrådets og forskernes anbefalinger.

- Vælg miljømærkede produkter. Hormonforstyrrende stoffer, er ikke tilladt i svanemærkede produkter.
- Vælg kosmetik og plejeprodukter uden hormonkemi. Se navnene på 17 af de hormonforstyrrende stoffer på <http://taenk.dk/tema/undgaa-hormonkemi/17-hormonforstyrrende-stoffer>. Astma og Allergiforbundet har lanceret appen "Kemilex" så man kan teste produkter for kemikalier mens man handler ind.

- Vælg økologiske fødevarer. De indeholder ikke pesticidrester, antibiotika mv. og skåner miljøet.
- Undgå antioxidant BHA (E320) i fødevarer, idet den mistænkes for at være hormonforstyrrende.
- Tør støv af ugentligt og luft ud to gange om dagen. Produkter som elektroniske apparater afgiver potentielt hormonforstyrrende stoffer til luften, som kan sætte sig i støvet.
- Undgå plastprodukter med polycarbonat og blødgjort PVC, da de kan indeholde bisphenol A.
- Vask nye produkter og tøj før brug for at fjerne rester af kemikalier fra produktionen.

Klogere på valg af uddannelse

50 unge greb chancen for at blive studerende for en dag, da Ingeniøruddannelserne på SDU inviterede indenfor den 31. maj 2013.

De unge mennesker, der kom fra hele landet, fik en eftermiddag sammen med de ingeniørstuderende, som viste rundt og fortalte om fag, projekter, undervisningsform og studiemiljø. Dermed fik deltagerne mulighed for at blive studieafklarede inden ansøgningsfristen den 5. juli.

Er det noget for mig?

"Jeg er her i dag for at undersøge, om Robotteknologi er noget for mig. Jeg synes, at uddannelsen lyder spændende, og jeg regner med, at jeg i dag finder ud af, om den skal stå øverst på min prioriteringsliste," lyder det fra Mathias Højborg Egebjerg, der har taget turen til Fyn fra Nykøbing Sjælland.

"Samtidig synes jeg, at det er rart at se stedet og møde de studerende," siger han.

Ud over spørgsmål til, hvordan det er at læse til ingeniør, blev der også spurgt til studiemiljø, fagenes indhold og Odense som studieby.

Efter sommerferien er der igen mulighed for at blive studerende for en dag på Ingeniøruddannelserne på SDU. Kontakt os på dfk@tek.sdu.dk eller tlf. 6550 7522.

50 unge greb chancen for at blive studerende for en dag.



INGENIØRUDDANNELSERNE PÅ
SYDDANSKUNIVERSITET.DK

Et tredje eksempel er pesticidet vinclozolin, der anvendes for at beskytte frugt mod svampeangreb. Vinclozolin har ligeledes anti-androgen virkning, og der er fundet rester af dette pesticid på overfladen af frugt og grønt.

Det er ikke kun gennem fødevarer, at vi dagligt udsættes for hormonforstyrrende stoffer – vi optager dem også gennem huden. Indholdet af konserveringsmidlet paraben, der skal hindre svampe og bakterievækst i cremer og kosmetik, har haft megen bevågenhed de seneste år. Parabener anses for at være hormonforstyrrende (dog er alle parabener ikke lige skadelige). Ifølge Miljøstyrelsen har 17 stoffer, der findes i kosmetik og plejeprodukter vist sig at have hormonforstyrrende effekt i dyreforsøg. I et vist omfang er disse stoffer da også blevet fjernet fra produkterne. Men desværre dukker der hele tiden nye op, såsom stoffet triclosan, der kan findes i tandpasta, og som anses for at være hormonforstyrrende.

En af de største trusler mod vort helbred

Udover de mange stoffer, som har utilsigtet hormonforstyrrende effekt, findes der også en række stoffer, der netop er designet til at efter-

ligne kønshormoner. Det gælder lægemidler som p-piller, der indeholder syntetiske østrogener, og anabolske steroider. Når mennesker indtager disse stoffer udskilles de syntetiske hormoner med urinen, og derfra kan de havne i miljøet (det samme gælder i øvrigt de naturlige hormoner). Desuden indeholder nogle planter, eksempelvis soja og kløver, naturligt forekommende planteøstrogener.

Alt i alt kan mennesker og dyr derfor komme i kontakt med en lang række forskellige hormonforstyrrende stoffer i et langt liv. Og problemet med hormonforstyrrende stoffer i miljøet knytter sig ikke kun til effekten af det enkelte stof. De seneste år er forskere blevet mere opmærksomme på cocktaileffekter, hvor eksponering for flere forskellige stoffer på en gang kan give en skadelig effekt, selvom de enkelte stoffer hver især optræder i uskadelige koncentrationer.

I den seneste rapport fra verdenssundhedsorganisationen WHO kan man læse, at efter globalopvarmning betragtes hormonforstyrrende stoffer som en af de største trusler mod vores helbred. Derfor er der al mulig grund til at holde godt øje med de hormonforstyrrende stoffer i fremtiden.

Læs mere

Jensen CB og Paludan-Müller P. Økotoxikologi pesticider og østrogenlignende stoffer, 1997

Larsen M og Baatrup E. 2010. Functional behavior and reproduction in androgenic sex reversed zebrafish (Danio Rerio). Environmental Toxicology and Chemistry. 29: 1828–1833

Metzdorff, SB et al. 2007. Dysgenesis and histological changes of genitals and perturbations of gene expression in male rats after in utero exposure to antiandrogen mixtures. Toxicological Sciences 98: 87–98

Morthorst J, Holbech H, Bjerregaard P. 2010. Trenbolone causes irreversible masculinization of zebrafish at environmentally relevant concentrations. Aquatic Toxicology. 98: 336–343

Theo Colborn. Our stolen future, 1996

Gensplejsede plan

Forfatter



Helene Müller,
speciale-
studerende
i biologi,
Københavns Universitet.
Fpd569@ku.dk

Skriver speciale om
gensplejsning af nord-
mannsgran.

I 1996 var der i verden 1,7 millioner hektar med Gensplejsede afgrøder. I dag er der over 170 millioner hektar. Gensplejsede afgrøder går således deres sejrsgang i mange lande – specielt i lande som Brasilien, USA, Kina og Indien. Men ikke i Europa. I Europa dyrkes der kun i begrænset omfang gensplejsede planter, og kun to gensplejsede planter er godkendt til dyrkning, nemlig Bt-majs og en kartoffelsort.

Hvorfor har gensplejsning ikke vundet større indtog i Europa? En væsentlig grund er den stramme regulering på området. Vejen fra, at en plante gensplejjes i laboratoriet til den må dyrkes på europæisk jord er lang og bekostelig. Det er The European Food Safety Authority (EFSA), der varetager og vurderer de europæiske ansøgninger, og efter de gældende regler stilles der skrappe krav til ansøgere, der bl.a. skal udarbejde en udførlig risikovurdering. EFSA rådgiver på denne baggrund de Europæiske medlemsstater, der skal tage endelig stilling til, hvilke europæiske regler der skal gælde for den pågældende gensplejsede plante.

Risikovurderingen er meget omfattende og skal behandle: 1) sandsynligheden for, at planten videregiver genet til andre planter (vertikal genoverførsel), 2) sandsynligheden for, at planten spreder sig til det omgivende miljø med mulighed for at blive invasiv, 3) vekselvirkninger med bakterier og svampe i jorden 4) plantens virkning på biogeokemiske processer og 5) indvirkning på dyrs og menneskers sundhed.

Et interessant spørgsmål i den forbindelse er, hvordan en sådan risiko kan måles, for risiko kan hurtigt blive et abstrakt begreb, der er svært at kvantificere. Er det fx rimeligt at forlange en risiko på nul, og findes det overhovedet? I Canada, der har en mindre stram regulering, er risikovurderingen baseret på det gen, der indsættes i planten. Et toksin giver således anledning til høj risiko, mens et gen, der fx har mulighed for at øge plantevæksten, har lav risiko.

Ingen fokus på fordele

Herhjemme er det et dogme i risikovurderingen, at

der ikke er tale om en cost-benefit-analyse, men at der alene må fokuseres på de miljø- og sundhedsmæssige risici. Det er ansøgeren, der skal bevise, at der ikke er en større risiko ved at dyrke den gensplejsede plante i forhold til dens ikke-gensplejsede modpart. Alle de økonomiske fordele og muligheder ved gensplejsning er dermed udeladt.

En amerikansk forskningsgruppe i Washington er i gang med at udvikle en hvedesort, der kan tåle højere temperaturer. Det vil gøre det muligt for flere lande at dyrke hvede i de varmere og tæt befolkede regioner. På samme måde arbejder andre forskningsgrupper med at ændre planter så de "passer bedre ind" eller bedre kan udnyttes til deres kommercielle formål. Papirindustrien satser på at gensplejse træer, så processen til at lave papir bliver mere økonomisk og mindre miljøskadelig. Det kan gøres ved at mindske træernes indhold af lignin (som er det stof, der får papir til at gulne med tiden), og dermed undgå at bruge så mange forurenende kemikalier til efterfølgende at fjerne lignin. Et eksempel på en gensplejset plante, der allerede er en succes, er bomuldsplanten i Indien. Indiske landmænd har siden 2002 dyrket den gensplejsede bomuld, der er beskyttet mod en bomuldsplarve, der er i stand til at ødelægge store dele af produktionen. Det fremgår af en analyse lavet af miljøøkonom Matin Qaim, fra Georg-August Universitet i Göttingen, at produktionen af bomuld steg med 24 % hos de landmænd, der brugte den gensplejsede plante. Den øgede produktion medvirkede til en fordobling i fortjeneste og en højere levestandard for familien.

Oplagt at gensplejse juletræer

Der er altså flere eksempler på, at gensplejsning kan være fordelagtig. Det kan give såvel industrien som landmænd økonomiske fordele, og samtidig kan det mindske belastningen af miljøet. Disse fordele kan vi også nyde godt af i Danmark. Gensplejsede nordmannsgraner til juletræer er et eksempel på et træ, vi kan dyrke stort set risikofrit herhjemme med potentielle kæmpefordele. Fx kan brugen af pestisider til bekæmpelse af bladlus i nordmannsgran reduceres ved at indsætte et gen, der koder for lektin. Lektin virker som et toksin på bladluse-

I Europa hersker der en udbredt skepsis mod gensplejsede planter, og lovgivningen på området fokuserer udelukkende på risikoen og ikke de potentielle fordele ved teknologien. Dermed går vi glip af oplagte muligheder – som fx at dyrke gensplejsede juletræer

ter har kæmpe potentiale

nes overflade, og kan derved forhindre deres indtrængen. Risikoen er minimal, da nordmannsgran kun gror i plantager og fældes efter 8 til 10 år, lang tid inden de udvikler pollen, der vil kunne sprede sig til miljøet. Desuden gror nordmannsgran ikke naturligt i Danmark og har ingen nære slægtninge. Det er heller ikke en spiselig plante, men en økonomisk vigtig plante, da vi eksporterer over 10 millioner træer hvert år.

Men de skrappe krav og kontrollen med gensplejsede planter i Europa gør det mere end vanskeligt at lave forskning og udvikling inden for området. I Kina, Indien, USA og Canada udnytter man derimod allerede mange af de fordele, der er ved gensplejsede planter, og i disse lande er man derfor også på mange områder på forkant med forskning.

Hvorfor er vi imod?

Spørgsmålet er, hvorfor vi i Europa har valgt at være så forsigtige med denne teknologi? Stort set alt

hvad vi spiser er allerede forædlet og avlet så meget, at vi ville have svært ved at genkende majs, jordbær eller kornsorter som de så ud for 100 år siden. Ved at krydse forskellige sorter med hinanden og krydse individer indenfor hver sort "vælger" vi også de gener, der skal være i planterne. Det, der allerede foregår ved hjælp af forædling, er altså ikke så forskelligt fra gensplejsning. Forskellen er, at gensplejsning er en mere kontrolleret metode, hvor der alene indsættes de gener, der kan optimere planten til et bestemt formål. Derved undgås, at andre gener "fejlagtigt kommer med i købet", som det ofte kan ske ved almindelig forædling.

Forsigtigheden i Europa afspejler den skepsis, der er i befolkningen og hos politikere over for gensplejsede fødevarer. Mens de fleste eksperter ikke ser den store grund til bekymring, stritter en del danskere/europæere imod. De frygter for uforudsete konsekvenser ved gensplejsning. Det er et problem, der bygger ovenpå en stram europæisk regulering. For



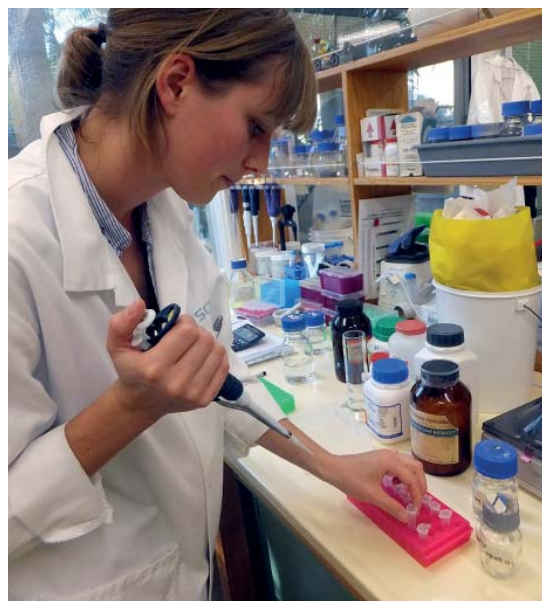
De sørgelige rester af en forsøgsmark med gensplejsede træer ved Scion Forest Research i Rotorua, New Zealand. En aktivistgruppe brød ind og fældede alle træerne. Forsøget gik ud på at undersøge, om de gensplejsede træer var resistente overfor et sprøjtemiddel.

Foto: Helene Müller



På billedet arbejdes der med den såkaldte biolistiske metode til at gensplejse planter. Plantevævet sættes ind i maskinen til venstre, og der skydes med guldpartikler ladet med DNA på plantevævet. Bagefter selekteres de planteceller, der i processen har fået inkorporeret DNA'et i sit eget genom.

Foto: Helene Müller



Ved Scion Forest Research i Rotorua, New Zealand arbejdede jeg med gensplejsning af juletræer. Her er jeg ved at teste, om det er lykkedes at få et gen indsat i træerne ved at måle på aktiviteten af det protein, som genet koder for.

Foto: Helene Müller

mange producenter tør ikke satse både økonomi og deres image på at være pionerer for gensplejsede produkter. Derfor vælger de at holde lav profil, indtil en virkelig succeshistorie herhjemme ændrer på den generelle holdning.

Et miljøbevidst valg

Selvfølgelig skal gensplejsede planter testes for mulige skadelige virkninger, men i bund og grund er det, der foregår ved gensplejsning, ikke så unaturligt som mange måske forestiller sig. De fleste planter kan således få "smuglet" gener ind i deres genom fra visse jordbakterier.

Et andet argument for en mindre restriktiv regulering af gensplejsning er udfordringen i at teste, om et konkret produkt indeholder gensplejset materiale. Når vi i Europa importerer varer udefra, kan det være svært at teste, om varen er gensplejset. Forskellige tests kan muligvis opdage et fremmed gen,

men faktum er, at mange gensplejsede produkter ikke med sikkerhed vil kunne bestemmes til at være gensplejsede. Forbrugerne kan nu med rette frygte, at de i fremtiden kommer til at spise gensplejsede fødevarer uden at vide det.

Men hvis den gensplejsede fødevarer bliver testet på samme måde som alle andre fødevarer, burde der ikke være en øget risiko ved at spise den. Man kan fx argumentere for, at det kan være ligeså "farligt" at gå med på light-bølgen, hvor man ikke med sikkerhed kender langtidseffekten af stoffet aspartam. Mange gensplejsede produkter kunne i virkeligheden være det fremtidige valg for den miljøbevidste forbruger, fordi gensplejsning er et alternativ til de gifte, der nu sprøjtes med på markerne.

Alt i alt har gensplejsede planter et kæmpe potentiale, der helt ses bort fra i Europa, hvor vi alene fokuserer på risiko.

Fakta om gensplejsede planter

1. Arealet med gensplejsede afgrøder er steget hvert år i perioden mellem 1996 og 2012. Fra 1,7 mio. ha til 170 mio. ha.
2. I 2012 plantede udviklingslande for første gang flere hektar med gensplejsede afgrøder (52 %) end de industrielle lande (48 %).
3. Af de 28 lande, der dyrker gensplejsede afgrøder, er 20 udviklingslande og kun 8 industrielle lande i 2012.
4. 17,3 millioner landmænd dyrker gensplejsede afgrøder. Ud af dem er over 15 millioner eller næsten 90 % ressource-svage bønder i udviklingslande
5. USA, Brasilien, Argentina, Canada og Indien udgør en top-5 af lande med flest hektar gensplejsede afgrøder.

Kilde: Fakta fra ISAAA's hjemmeside (International service for the acquisition of agri-biotech applications).

Læs nyhedsartikler om emnet

www.etik.dk/artikel/405384:Genmodificerede-foedevarer--Danskerne-stejler-over-manipulation-af-naturen

www.kristeligt-dagblad.dk/artikel/447764:Danmark--Danmark-slipper-for-gensplejsede-kartofler

www.dr.dk/Nyheder/Indland/2013/05/28/184747.htm



FÅ NYE PERSPEKTIVER PÅ NATURVIDENSKABEN

Tag din gymnasieklasse med ud til et spændende besøg på Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet på Københavns Universitet.

Vores engagerede forskere og undervisere står klar med foredrag og øvelser inden for blandt andet biologi, fysik, kemi, nanoscience og fødevarer.

Kom for eksempel og hør professor Ole John Nielsen fortælle om klimaforandringer og om, hvordan atmosfæren renser sig selv. Eller

prøv vores nye foredrag og øvelse "Medicinsk billedbehandling", der handler om, hvordan datamodeller kan bruges til design af høreapparater, medicinsk billed-diagnosticering og meget andet.

Se vores mange foredrag og øvelser og tilmeld din klasse på

science.ku.dk/gymnasiebesog

Der er åbent for tilmelding fra d. 26. juli.



DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET

UDGIVELSER

BOGANMELDELSE

Slip formidlingen løs

Anmeldt af Inge G. Revsbech, ph.d.-studerende
i Zoofysiologi, Bioscience, Aarhus Universitet

Der er ikke nok journalister til at fortælle om al den forskning, der finder sted i Danmark. Så vi forskere må selv bringe brænde til bålet, hvis lyset fra netop vores forskning og område skal være til at få øje på.

Det er præmissen bag den håndbog i formidling af videnskab, som netop er udkommet i anledningen af videnskab.dk's første fem leveår. Det er ikke nogen ringe præmis, og på kun 96 sider bliver vi sat ind i, hvordan vi gør det. Alle over en kam skal ikke formidle populært, men argumenterne er mange for, hvorfor det er en god idé, hvis grundtanken ikke virker helt afskrækkende. Fremtidige bevillinger, rekruttering til dit område, bidrag til en velinformeret offentlig debat og din egen karriere er gode forslag. Og så fordi det er sjovt.

Lever op til sin titel

Bogen guider kompetent gennem formidlingens facetter. Fra valg af kanal – vælg Facebook og netmedier frem for Politiken hvis dit mål er 15-årige – over vinkling og de relevanskriterier som journalister arbejder med. På bogens begrænsede sideantal bliver journalisternes metoder kogt ned og gjort let tilgængelige. Særligt afsnittet om skriftlige genrer er nok en øjenåbner. Mange forskere har måske hurtigt konkluderet, at de jo næppe kan interviewe sig selv, sådan som den gængse nyhedshistorie er bygget op. Men særligt feature-artikler med mere saft, kraft og personlig fortælling er én af mulighederne for at skrive egne artikler.

Denne lille, lækre opskriftsbog i faglig formidling kan bruges som en trin-for-trin guide, hvis du vil formidle skriftligt og gøre din historie æggende, vækkende og dækkende for andre end dine kolleger. Men såmænd også til dem. Og den stopper ikke der.

Slip din viden løs lever op til sin titel. Den dækker også råd til god mundtlig præsentation, der kan indfange interessen hos folkeskoleelever såvel som faglige fæller. Og så slutter bogen af med et kapitel om at blive



interviewet og en lille guide til, hvordan du sammen med journalisten får et godt produkt.

Til hylden i kaffestuen

Bogen er i høj grad skrevet til den etablerede forsker. Men den velvoksne niche af ph.d.-studerende kan få mindst lige så meget glæde af indholdet. Især fordi mødet med pressen eller skrivning af pressemeddelelser er en førstegangsoplevelse, når ph.d.'en nærmer sig nogle spændende konklusioner. Alle kaffestuer bør have denne lille håndbog på hylden. Den er lige relevant for den ph.d.-studerende, som mangler interesse-fængende struktur til U-days oplægget som for professoren, der har fået en journalist i røret og gerne vil have struktur og styring af sit interview. Ja, *Slip din viden løs* er relevant kaffestuehylde-gods på lige fod med de sidste par års udgaver af *Nature* og nok en kende bredere forståelig og anvendelig.

Bogen er skrevet med udgangspunkt i erfaringer fra videnskab.dk, og det mærkes især på den første håndfuld sider. Men denne håndbog i formidling kommer længere end bare at være en opskrift eller "author guideline" på indlæg til netop videnskab.dk. Resultatet er en opskriftsbog på at få din viden ud. Løs i en større verden. Ja, man har jo lyst til at fatte tastaturet lige med det samme og komme i sving.

Peter Hyldgård, Niels Ebdrup, Mette Minor Andersen og Irene Berg Petersen: *Slip din viden løs – håndbog i faglig formidling*. Forlaget Ajour og Videnskab.dk 2013. 96 sider, 178,- kr. ■



GeoScience

- en inspirationsbog til fagene geoviden-
skab og naturgeografi i gymnasiet

GeoScience er en fællesudgivelse fra Københavns Universitet, GEUS og Aarhus Universitet, der alle er parter i Geocenter Danmark. Kapitlerne kan læses uafhængigt af hinanden, og de giver en introduktion til centrale temaer inden for geologi, naturgeografi, kulturgeografi og biologi både i Danmark og i resten af verden. *GeoScience* kan også bruges som oplæg til diskussion af vigtige emner som for eksempel vores beredskab i forhold til naturkatastrofer, forvaltning af naturressourcer samt menneskets ansvar i forhold til klimaforandringer, også i det langsigtede perspektiv.

Bogen kan downloades i pdf-format enten samlet eller hvert kapitel for sig. Se mere på: www.fokus.ku.dk, www.geus.dk, og www.geo.au.dk. 2013, 132 sider, udleveres gratis som klassesæt til gymnasier.

BOGANMELDELSE

UDGIVELSER

Til kaffeslabberas hos Aarhusmatematikerne

Anmeldt af Mikkel Willum Johansen, ph.d. i matematikkens filosofi, adjunkt ved Inst. for Naturfagenes Didaktik, Københavns Universitet

Matematiske mysterier er bogudgaven af en forelæsningsrække fra Folkeuniversitetet i Aarhus. Den består af i alt ni uafhængige bidrag, der alle henvender sig til den almindelige, lærde læser. Bogen dækker en række klassiske matematikformidlingsseminer som det gyldne snit og kryptografi, men behandler også flere nye og mere originale emner, som Hilberts 16. problem og Poincaré-reformodningen.

De fleste af bogens bidrag er både spændende og velfortalte. De er bygget godt op om klare og interessante historier, og formår at fortælle nyt fra forskningsfronten, så alle kan være med. Der er dog enkelte svipsere, hvor den gode historie forsvinder i tekniske detaljer eller måske aldrig har været der. Navnlig virker afsnittet om primtalsmysterier rodet og uden klar idé. Det vil jeg nok anbefale, at man stille og roligt springer over.

Hvad angår sværhedsgrad rammer bogen den almindelige lærde læser ganske godt. De fleste kapitler er læsbare for gymnasieelever, omend de nok vil have besvær med visse tekniske og terminologiske detaljer. Specielt bruger mange af kapitlerne matematisk symbolisme, der vil være uforståelig for læsere, der ikke har haft matematik på universitetsniveau. I den forbindelse må man forbavses over redaktørens forord, hvor der står: »Mange læsere vil derfor nok støde på formler, som de ikke kan forstå. Det gør ikke så meget«.

Jo det gør! Læseren kan jo ikke undgå at føle sig snydt og sat af, hvis der er ting, han eller hun ikke forstår. Hvem er det præcist, man kommunikerer med, hvis man skriver en formel, man ved, læseren ikke forstår? Her havde et bedre redaktionelt arbejde og ikke mindst større formidlingsmæssige ambitioner i redaktionen været på sin plads.

Ingen samlet fortælling

Bogen er en typisk Aarhus Universitetsforlagsproduktion, idet alle bidragydere på forskellig vis er tilknyttet Aarhus Universitet –



og for de flestes vedkommende også er udannet der. I modsætning til andre af forlagets produktioner er det dog ikke lykkedes at skabe en klar tematik, der kan samle de enkelte kapitler. Titlen Matematiske mysterier er forholdsvis uklar og de fleste bidrag forholder sig kun overfladisk til den. Bogens præmis er tilsyneladende, at forfatterne har fået lov til at skrive om noget matematik, de synes er spændende. Og det har de så gjort. Det er der bestemt ikke noget galt i – fortællelysten er stor og de enkelte kapitler er hver for sig spændende, men der er ingen samlet fortælling og derfor ingen synergieffekt mellem bogens enkelte dele.

Et must på lærerbiblioteket

Bogen kan dermed anbefales til alle, der har lyst til en hyggelig kaffeslabberas hos matematikerne og matematikhistorikerne i Aarhus. Man er i godt selskab og bliver både oplyst og underholdt undervejs. Specielt bør alle gymnasieskolens fagreferenter i matematik fluks indkøbe bogen til skolens lærerbibliotek. Bogen vil både give nye vinkler på det kendte stof, inspiration til studieretningsprojekter og kopimaskineklart materiale til tværfaglige forløb. Hvad angår det sidste, er bogens store force, at den faktisk flere steder formår at vise forskningsfronten så velforholdt, at selv gymnasieelever kan være med (hvis de får lidt hjælp til formlerne!). På den måde får bogen vist, at matematikken er en levende disciplin, hvilket vil være et kære komment supplement til den typiske lærebogs guidede tur til fortidens matematiske monumenter.

Hans Anton Salomonsen (red) (2013). *Matematiske mysterier. Historien, forklaringerne og løsningerne*. Aarhus Universitetsforlag. 212 sider, 249,95 kr. ■



Bohr på ny

I 2013 fejrer Danmark og resten af verden 100-året for Niels Bohrs atommodel, som kom til at revolutionere fysikken og vort verdensbillede. I den anledning er antologien *Bohr på ny* blevet til. Bogen er inddelt i fire kapitler, der handler om forskellige aspekter af Bohrs liv og karriere – fra familiemennesket, over den politiske Bohr til hans virke som fysiker og ”filosof”. En lang række fagfolk har bidraget til bogen som forfattere til de enkelte afsnit, og hele herligheden er redigeret af forlægger Lone Bruun, Niels Bohr Arkivets leder Finn Aaserud og professor Helge Kragh.

Lone Brun, Finn Aaserud & Helge Kragh (red): *Niels Bohr på ny*. Forlaget Epsilon.dk 2013. 224 sider, 270,- kr.



VI skoven med lup

Det nye nummer af *Natur og Museum* har titlen *I skoven med lup* og handler om den verden, der åbenbarer sig for den naturinteresserede, hvis man går rigtig tæt på. Luppen synliggør fx strukturer, som er nyttige ved bestemmelse af planter, og den kan afsløre, at et bølgeblad i virkeligheden er et helt lille øko-system, hvor energien effektivt overføres fra blad til bøgeløppe-larve.

Torben Gang Rasmussen: *I skoven med lup*. *Natur og Museum* nr. 2, 2013. 36 sider, 60 kr. Kan købes på Naturhistorisk Museums hjemmeside.

Aktuel NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

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

Styregruppe

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

Redaktionsgruppe

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

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

Ansvarshavende

Konstitueret kommunikationschef Steffen Longfors

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 2013

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

Abonnementsservice

Portoservice, Postboks 9490, 9490 Pandrup

Telefonnr.: 70 25 55 12

e-post: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Eller via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Layout og illustration: Britta Munter og Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S

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

Oplag: 8.800

Omslagsfoto:

Sommervejret kan være dramatisk.

Foto: Colourbox.



Fagpanel

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

- **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., Københavns 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
- **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
- **Anne Mette K. Jørgensen**, leder af Danmarks Klimacenter, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Peter C. Kjærgaard**, professor, Institut for Kultur og Samfund, Aarhus Universitet
- **Gunnar Larsen**, geolog, NIRAS.
- **Bent Lauge Madsen**, biolog (pensioneret fra Miljøministeriet).
- **Sebastian H. Mernild**, Klima- og Polarforsker, Los Alamos National Laboratory, New Mexico, USA
- **Ole G. Mouritsen**, professor, Institut for Fysik, Syddansk Universitet.
- **Bent Nielsen**, gymnasielektor, Københavns VUC.
- **Jens Olaf Pepke Pedersen**, seniorforsker, DTU Space.
- **Kaj Sand-Jensen**, professor, Sektion for Ferskvandsbiologi, Biologisk Institut, Københavns Universitet.
- **Theresa S. S. Schilhab**, forsker, Forskningscentret Gnosis, Aarhus Universitet
- **Klaus Seiersen**, ph.d., Aarhus Sygehus, Afd. for Medicinsk Fysik.
- **Carl-Erik Sølberg**, civilingeniør, Institut for Fysik, Aalborg Universitet.

GRUNDFOS



Tilbud til gymnasieskolen



Nyt tilbud til gymnasieskolen:

Modtag fx. en pakke med 20 blade til alle interesserede lærere. Pris eksklusiv moms: kun 950 kr. (omfatter 6 numre/udgivelser samt adgang til de nyeste pdf-versioner). Se flere tilbud og bestil via: aktuelnaturvidenskab.dk eller abo@aktuelnaturvidenskab.dk eller på tlf. 70 25 55 12.

Abonnementsservice

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

Kontakt abonnementsservice på

Telefon: 70 25 55 12

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

e-post: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

Adgang til pdf-udgave

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

Brugernavn: **aktuel-nr3**

Kodeord: **jud42ops**

Du logger på via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk hvor du vælger punktet "Nyeste numre" (3-2013). Herefter kan du logge på i højre side.

Ny udstilling

Flora Danica ZOOM

Den 7. maj åbnede en ny udstilling, Flora Danica ZOOM, på Statens Naturhistoriske Museum – nærmere betegnet i Maskinhallen i hjørnet af Botanisk Have.

I 1700-tallet skabte botanikere, tegnere, kobbertrykkere og malere i fællesskab værket Flora Danica med 3.240 illustrationer af planter fra det danske rige. Værket indskrives sig i en tradition, der strækker sig over århundreder. En tradition, hvor kunstnere og videnskabsfolk arbejder tæt sammen om at studere floraen og gengive dens detaljerigdom med blyant, pensler og trykssvæerte. De tegnede hvert et lille blad med minutøs omhu. De fine årer i den bløde overflade, de små hår på stængelen – enhver detalje, der kunne ses med det blotte øje, skulle med.

I den nye udstilling zoomes der helt ind på farver, teknikker og illustrationernes skønhed i de gamle værker, og på hvordan Flora Danica har inspireret kunstnere og kunsthåndværkere gennem tiderne.

Udstillingen omfatter bl.a.:

- Botaniske tegninger gennem 1500 år
- Flora Danica bag kulisserne – farver og teknikker
- Blomster i pres – om fremstillingen af herbarieark
- Strik, broderi og eventyrlige kjoler inspireret af Flora Danica
- Kobbertrykkerens værksted – et indblik i danske kunstneres arbejde med Flora Danica
- Porcelænsmaler fra Royal Copenhagen dekorerer det verdensberømte Flora Danica-spisestel (kun på udvalgte dage)
- Shane Brox' knuste Flora Danica-porcelæn



I Flora Danica mødes videnskab og kunst - her i det verdensberømte porcelænsstel af samme navn fra Royal Copenhagen. Foto: Royal Copenhagen

Som vinden blæser...

Af Carsten R. Kjaer

Jø, da – sådan en kan vi godt lave«. Det var noget i den retning Haraldur Páll Gunnlaugsson (kaldet Palle) fra Mars-gruppen ved Aarhus Universitet sagde tilbage i 2005, da han blev præsenteret for muligheden for, at Phoenix-landerens, der skulle sendes til Mars, kunne medbringe en vindmåler. På det tidspunkt var der kun to år til opsendelsen skulle finde sted, og stort set alt andet udstyr, der skulle med på missionen var allerede testet og godkendt (typisk tager det 3-5 år at udvikle udstyr til rummissioner). Så man kan vidst godt tillade sig at kalde det et impulsivt tilsagn, Palle kom med.

Skrappe krav

Man skulle ikke tro, at det ligefrem er raketvidenskab at lave en vindmåler, når man kan købe en komplet vejrstation til hjemmebrug for under 500 kr. på internettet. Men til rummissioner er kravene til udstyr af en anden kaliber, så hyldevarer og toårig reklamationsret er på forhånd udelukket. Vindmåleren måtte fx stort set ingenting veje – på sådanne missioner er der en meget nøjeregnende "payload manager", som ned til brøkdele af et gram holder styr på, om man holder sig inden for den tildelte vægt. Desuden skulle vindmåleren både være ultrafølsom og ekstrem holdbar. Den tynde atmosfære på Mars gør, at selv en kraftig blæst ikke nødvendigvis vil få en vindmåler til at bevæge sig ret meget, og rysteturen ved en raketaffyring og landing på Mars er hård kost for selv det mest solide udstyr. Ja, og så kunne man i øvrigt glemme alt om at få koblet vindmåleren til noget som helst elektronisk måleudstyr, da adgang til den kostbare elektricitet var forbeholdt andet udstyr. Det var i store træk de udfordringer udviklingsteamet stod overfor, da de kastede sig ud i projektet. Opgaven blev løst ved at fræse en "galge" ud af en titaniumblok, og i denne ophænge et lille rør af sammenrullet folie i tynde kevlartråde. Det lille folierør ville bogstavelig talt bevæge sig som vinden blæste, og selve målingen kunne ganske lavpraktisk foregå, når kameraet på Phoenix tog et billede af vindmåleren. Vindretning og hastighed kunne så aflæses ud fra spejlingen af det lille folierør i et spejl, der var en del af vindmåleren.

Klar til næste Marsmission

Som bekendt blev vindmåleren en stor succes, som udover videnskabelig hæder og ære har givet udviklingsgruppen på Aarhus Universitet en "achievement award" i form af et fint diplom fra NASA. Dermed er historien dog på ingen måder slut, for gruppen arbejder videre med at forbedre designet af vindmåleren, så en endnu lettere og endnu mere følsom model kan komme med på fremtidige Marsmissioner. I det nye design anvendes magnetisk måling, som vil gøre det muligt at foretage løbende målinger uafhængigt af et kamera. Desuden vil der også være andre småforbedringer som fx små udfræsninger i holderen, der sikrer,



Palle fremviser stolt de omhyggeligt indpakkede prototyper på vindmåleren. Omgangen med udstyret kræver rentrumsdragter for i sidste ende at undgå at sende forureninger med til Mars, specielt DNA. Øverst en NASA-illustration, hvor vindmåleren anes i toppen af meteorologimasten på landeren.

at vindmåleren bliver siddende hvor den skal, selvom den skrue, der holder den fast på meteorologimasten, skulle blive en lille smule løs. Hele den forbedrede herlighed vil komme til at veje omkring 13 gram, så den næppe vil vælte vægtbudgettet for selv den mest krakilske payload manager.

Udover Palle er kilderne til denne artikel Christina Holstein-Rathlou, som bl.a. har stået for analysen af resultaterne fra Mars og forskningstekniker Peter Lange, der var med til at konstruere vindmåleren. ■

Læs mere om vindmåleren: <http://marslab.au.dk/forskningsprojekter/instrumentudvikling/telltaleprojektet/>

Video: www.jpl.nasa.gov/news/phenix/images.php?fileID=7655