Aktuel NATURVIDENSKAB

4 | SEPTEMBER I 2015

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00

Kemi mellem stjernerne

Naturgenopretning – nu med videnskab

Effektelektronik – en nøgleteknologi i energisystemet

Er vandremuslingen en trussel?

På vej mod de to grader

Politiske beslutninger på klimaområdet halter efter den aktuelle viden. Det kan gøre det svært at holde de målsætninger, der faktisk bliver besluttet.

Ved Sebastian H. Mernild, klima- og polarforsker (ph.d.), forskningsleder ved Center for Scientific Studies i Chile. SHM er medforfatter på den seneste rapport fra IPCC og med i styregruppen for Climate and Cryosphere, under World Climate Research Program, World Meteorological Organization, United Nations.
mernild@cecs.cl

SYNSPUNKT

Efter de pauvre resultater i klimatopmøde-regi er der igen fra politisk side lagt op til, at en målrettet klimaaftale kan blive en realitet ved COP21 i Paris senere på året. Og dog. De seneste politiske udmeldinger peger i retning af, at flere lande, inklusive Danmark, ikke vil følge FN's klimapanel IPCC's anbefalinger om en reduktion af den menneskeskabte CO_2-udledning. Anbefalinger, som har til formål bl.a. at forhindre, at den globale middeltemperatur i kommende årtier stiger mere end to grader i forhold til det præindustrielle niveau.

Betyder den manglende politiske vilje, at vi allerede nu skal indstille os på en fremtid med et betydeligt varmere klima – med en risiko for flere ekstreme klimahændelser og en højere global middel-havvandstand end i dag?

Videnskabeligt er det dokumenteret, at udledningen af menneskeskabte drivhusgasser til atmosfæren påvirker energiforholdene i klimasystemet, herunder ophobningen og udvekslingen af varmeenergi mellem atmosfæren, landjorden og oceanerne. Det får klodens middel-overfladetemperatur til at stige. Overfladetemperaturen er allerede nu øget med mere end en tredjedel af den politiske togradersmålsætning. Fortsætter tendensen, vil vi ved dette århundredes udgang sandsynligvis have en global middel-temperatur 2–3 grader over nutidigt niveau. Som klimaforsker er man velvidende om, at de klimamodeller, der anvendes til fremskrivninger, ikke er 100 % perfekte fysiske redskaber. Men de er statistisk sikre nok til at informere os om fremtiden. Nøgternt betyder det, at to graders-målsætningen meget vel tidligst vil blive overskredet i 2040'erne.

Toppen af isbjerget

Skal man tro en nylig studie publiceret i juli 2015 af bl.a. ledende internationale is- og klimaforskere, inklusive James Hansen (den tidligere chef for NASA Goddard Institute for Space Studies i New York), er selv en temperaturstigning på to grader alvorlig nok endda. Allerede inden vi rammer de to grader, vil der sandsynligt forekomme en øget hyppighed af klimaekstremer med alvorlige konsekvenser til følge. Ligeledes kan gletscherne, der er i direkte kontakt med havvand, føre til en "pludselig" global middelhavvandstigning på op til 5 meter – ved afbræk – inden for en tidshorisont på omkring 100 år. Disse havniveauvurderinger er betydeligt over IPCC's seneste konservative estimat på 0,3 - 0,9 meter frem mod 2100. Trods usikkerheden må IPCC's tal vurderes til at være lavt sat – specielt set i lyset af de seneste observationer, vi har om udviklingen i massetabet fra både indlandsisen og det antarktiske isskjold. En udvikling, der går mod et accelererende tab og mere ustabile isforhold – specielt i Vestantarktis. Sådanne forhold i Vestantarktis kan medføre pludselige afbræk af gletscheris, som ikke er medregnet i IPCC's estimat frem mod 2100. Det er derfor sandsynligt, at de fysiske forandringer, vi ser i isskjoldene i dag, kun er toppen af isbjerget, hvor øget isbidrag til verdenshavene vil være en uundgåelig konsekvens i et fremtidigt varmere klima.

Den store joker

Det er en videnskabelig udfordring fuldt ud at forstå havets effekt på isens dynamiske forhold, fx på variationer i hvor isen mister kontakten til havbunden og på kælving af isbjerge, herunder isstrømmenes fysiske forhold. Vores modeller er pt. ikke gode nok til at reproducere disse forhold i et nutidigt perspektiv, og derfor ej heller i et fremtidigt. James Hansen pointerer, at gletscherisen, der er i direkte kontakt med havvand, vil reagere hurtigere end det, modellerne antyder, og end det, der er forudsagt af IPCC.

Der er ingen tvivl om, at Antarktis kan blive den store joker i fremtidens vurderinger af udviklingen i det globale havniveau (også for Danmarks vedkommende, selv om variationer i havniveauet netop omkring Danmark ifølge statsgeolog Jens Morten Hansen (AN, 3/2015) synes at være under indflydelse af en række naturlige processer og svingninger uafhængigt af istabet og varmeudvidelsen fra et varmere hav). Det skyldes specielt, at adskillige gletschere omkring Amundsenhavet og Vestantarktis, inklusive Pine Island-gletscheren, er indtrådt i en irreversibel tilbagetrækning. Pine Island-gletscheren er den største individuelle antarktiske bidragsyder til det stigende havniveau, og den har over det seneste årti trukket sig mere end 10 km tilbage. Forventeligt vil den trække sig yderligere 40 km tilbage i kommende årtier som en konsekvens af tilpasningen til de nutidige fysiske forhold. Til sammenligning er der fx i Sydøstgrønland observeret en tilbagetrækning af indlandsisens udløbsgletschere på omkring 6 km siden 1932/33 til i dag.

Meget peger på, at forandringerne i dag sker hurtigere end IPCC's rapporter viser. Det understreger et behov for, at der langt hurtigere træffes politiske beslutninger i kølvandet på rapporternes offentliggørelse. Ellers risikerer vi at der træffes beslutninger om reduktionskrav til udledning af drivhusgasser på grundlag af forældet viden. Aktuelt betyder det, at togradermålsætningen meget vel kan blive overskredet og medføre øgede klimaekstremer og stigende havniveau. ■

Indhold

Naturgenopretning 8

– nu med videnskab

Mange danske søer og vandløb er blevet genoprettet, uden at deres udvikling efterfølgende er blevet dokumenteret. Det gør vi til gengæld i den nyskabte Filsø og den lysåbnede Øle Å på Bornholm for at høste viden og nødvendige erfaringer om optimal naturforvaltning.

FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt 4

Naturgenopretning – nu med videnskab 8

Er vandremuslingen en trussel i danske vandløb? . . . 14

Solformørkelser og energiproduktion 18

Effektelektronik – en nøgleteknologi i energisystemet . 22

Kemi mellem stjernerne 28

PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: På vej mod de to grader? 2

Måneartikel uden overbevisende databehandling . . . 34
– med svar og replik

Halleluja for miljøforkæmperen pave Frans! 38

Bøger: *Eske Willerslev – han gør det døde levende* og *Forandringens vinde - Nye Teknologihistorier* . . . 40

Citizen science: Opdag havet 43

Bagsiden: Førsteårs-forskere 44

Kemi mellem stjernerne 28

Stjernetåger kan populært sagt opfattes som en tynd "suppe" af molekyler. En udskældt type molekyle her på Jorden bærer måske en del af svaret på, hvordan den kemiske mangfoldighed opstår i disse områder af rummet.

DMI klar med næste generation vejrmodeller

DMI's nye supercomputer er snart klar til at regne på Kongerigets vejr. I første omgang øger maskinen fra amerikanske Cray instituttets regnekraft med en faktor 3. Ved en opgradering i 2018 stiger regnekraften yderligere med en faktor 10 i forhold til i dag.

Evnen til avanceret talknusning får dog hurtigt ben at gå på. Udviklerne ved DMI står allerede på spring med nye, avancerede vejrmodeller, der skal forbedre både den daglige vejrudsigt og varslingen af farligt vejr.

En af forbedringerne er finere masker i det 3D-net af beregningspunkter, som modeller består af. »Når maskestørrelse bliver mindre, skal ligningerne for atmosfæren løses mange flere gange, og det er dyrt i regnekraft. En fordobling af opløsningen i de tre rumlige dimensioner plus tidsdimensionen gør modellen omtrent 16 gange tungere for computeren,« fortæller Bent Hansen Sass, der har ansvaret for modeludviklingen ved DMI.

De nye modeller er bedre til at forudsige fænomener på små horisontale skaler som fx kraftige byger, der giver skybrud, eller den frygtede grønlandske piteraq-vind. Maskestørrelsen i DMI's modeller er i dag mellem 3 og 5 km. DMI vil gerne helt ned omkring 1 km eller mindre for de modeller, der beregner det danske vejr og for dem, der dækker de vigtigste grønlandske fjorde. Det er en beregningsmæssig udfordring, som ser ud til delvist at kunne indfries i den ny computers fem til syv år lange levetid.

4. september 2015 stod Lyngbyvejen ved Ryparken Station ikke blot under vand, men også under hagl efter et skybrud. Det er situationer som denne, DMI's nye supercomputer skal være med til at forudsige.

Foto: Brian Rasmussen

»Vi møder særlige udfordringer, når vi vil lave prognoser for vejrfænomener på skalaer under 1 km. Det kræver, at vi begynder at beskrive turbulens i modellen. Og den kan ikke engang forudsiges deterministisk fra det ene minut til det næste,« siger Bent Hansen Sass.

Hvis installation og test af de nye supercomputer går efter planen, er den klar fra foråret 2016. Computeren er fysisk placeret i Island som en del af et partnerskab med det islandske meteorologiske institut om at levere de bedste vejrudsigter og den bedste klimaforskning i Arktis.

Niels Hansen, DMI

Klimatilpasning med uheldige bivirkninger

Mens politikere og beslutningstagere sætter gang i velmenende projekter, der skal beskytte os mod ændringer af klimaet, risikerer miljøet og lokalbefolkningen, som tiltagene havde til formål at hjælpe, at komme til at betale en høj pris. Sådan lyder konklusionen i artiklen *The political economy of climate adaptation*, der for nylig er blevet udgivet i tidsskriftet *Nature Climate Change*.

Bag artiklen står professor Michael Evan Goodsite fra Syddansk Universitet, professor Benjamin Sovacool fra Aarhus Universitet og Professor Björn-Ola Linnér fra Linköping Universitet.

Et eksempel på et af disse mere eller mindre fejlslående projekter kan findes i Mnazi Bay-Ruvuma Estuary Marine Park i Tanzania. Her endte foranstaltninger til beskyttelse af et koralrev med at påvirke landsbyboernes traditionelle fiskeri i området i en sådan grad, at de nu er blevet mere afhængige af energi-intensive landbrug med en højere udledning af drivhusgasser. Desuden måtte nogle fiskere migrere til andre områder langs kysten med højere brændstofpriser og lavere fangster. Mange har derfor måttet opgive deres små fartøjer til fordel for større motoriserede både, der yderligere øger CO_2-udledningen.

På Maldiverne har regeringen det seneste årti forsøgt at klimasikre infrastrukturen mod stigningen af verdenshavene. Bygning af diger og udvidelser af havne for at sikre transportveje har betydet, at naturens egne miljøforanstaltninger er blevet svækket, at koralrev er blevet mere udsatte, og at en forstyrrelse af tidevandet har påvirket cirkulationen af næringsstoffer.

Byggeri mod stigende havniveau kan påvirke havmiljøet negativt.

Foto: Colourbox

Forfatterne mener derfor, at det er vigtigt, at politikere og beslutningstagere husker at tage politiske, økonomiske og sociologiske aspekter med ind i deres overvejelser, hvis ikke klimatilpasningen skal have utilsigtede følger for dem, foranstaltningerne havde til formålet at beskytte.

Mette Christina Møller Andersen, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet

Fribillet til rumstation kræver lyttepost i Wien

En enestående chance for at få ingeniørstuderendes hjemmebyggede satellit sendt ud i rummet fra Den Internationale Rumstation ISS tvinger Aalborg Universitet til at bruge en ny løsning, når signaler fra satellitten fremover skal opfanges fra jorden.

Tidligere Aalborg-satellitter er sendt op på mere traditionel vis med ubemandede raketter. De er blevet anbragt i et kredsløb om jorden, som har sendt dem hen over Danmark og polerne. Men rumstationens bane er anderledes, så AAUSAT5 kommer også til at passere flere hundrede kilometer sydligere. Den østrigske hovedstad Wien ligger til gengæld fint placeret, så løsningen er blevet en aftale med Technische Universität Wien om en lokal jordstation, som sender de indsamlede signaler videre til satellitlaboratoriet i Aalborg.

Foto: AAU

Den samlede AAUSAT-familie. Bagerst fra venstre er det AAU Cubesat (opsendt 2003), AAUSAT II (opsendt 2008) og AAUSAT3 (opsendt 2013). Forrest fra venstre ses AAUSAT4 og AAUSAT5.

En anden lidt omvendt udfordring består i, at den nye satellit kommer til at befinde sig tættere på jorden. Selv om det som udgangspunkt bringer den nærmere jordstationerne i Aalborg og Wien, kommer den også ind i et mere støjfyldt miljø end det, satellitgruppen i Aalborg er vant til at håndtere.

»Vi plejer at ligge i 700-900 kilometers højde, men nu kommer vi ned i en bane omkring 400 km, hvor rumstationen befinder sig. Det betyder, at der er meget mere atmosfære, og at atmosfæren også er mere utilregnelig, så vi er spændte på, hvordan satellitten vil opføre sig,« forklarer lektor Jens Dalsgaard Nielsen fra Institut for Elektroniske Systemer.

Det er første gang, det europæiske rumfartsagentur ESA har ladet en satellit bygget af studerende komme ombord på Den Internationale Rumstation, og første gang i det hele taget, at ESA har gjort det amerikanske modstykke NASA kunsten efter og prøvet at sende små cubesats i kredsløb fra ISS.

De studerende er en del af ESA's Fly your Satellite! uddannelsesprogram, og sideløbende med AAUSAT5 har de arbejdet på en AAUSAT4, som efter planen sendes op senere i år. Aalborg-satellitterne bliver brugt til overvågning af søfarten i de områder, de overflyver.

Carsten Nielsen, Videnskabsjournalist, Aalborg Universitet

Hvordan overlever ålegræs i giftig havbund?

Undersøiske enge af havgræsser vokser i store dele af verden, hvor de fungerer som hjem for mange forskellige smådyr, filtrerer vandet og tilbageholder kulstof og næringssalte. Men engene er truet i næsten alle egne af verden, og flere steder, også i Danmark, arbejder forskere og myndigheder på højtryk for at forhindre havgræsser i at forsvinde.

I nogle af de områder, hvor havgræsserne forsvinder, er havbunden kendetegnet ved at være iltfri og have et højt indhold af sulfid (S^{2-}), som er årsagen til, at havbunden lugter af rådne æg, når man roder i den. Da sulfid er giftigt, er det oplagt at tro, at dette stof spiller en væsentlig rolle i havgræssernes tilbagegang. Men som udgangspunkt kan havgræs af arten *Zostera marina* (ålegræs), som er en af to arter af havgræsser, vi finder i danske farvande, sagtens tåle sulfid. Det viser ny forskning af postdoc Harald Hasler-Sheetal og professor Marianne Holmer fra Biologisk Institut, Syddansk Universitet, der for nylig er publiceret i tidsskriftet *PLOS ONE.*

Studiet viser, at ca. to tredjedele af den sulfid, som findes i havbunden, bliver holdt væk fra plantens indre af en iltkappe, som planten danner rundt om sine rødder. Iltkappen opretholdes i dagslys, hvor planten producerer ilt, som diffunderer ned til rødderne. Om natten diffunderer ilten fra vandet igennem planten ned til rødderne. En del af ilten bruges til at omdanne sulfid til elementært svovl, som planten aflejrer som et ufarligt stof på indersiden af plantens kanaler til gastransport.

Foto: Jonas Thormar

Ålegræs i Kertinge Nor.

Den sidste tredjedel af sulfiden får lov at trænge ind i planten, formentligt primært om natten, hvor iltkappen er mindst. Her omdanner enzymer sulfiden til nyttige stoffer, som fungerer som næring for planten.

Når havgræsserne er truede på trods af deres evne til at tåle sulfid, kan det hænge sammen med, at denne sulfid-afgiftningsmekanisme ikke kan opretholdes, hvis planterne stresses af fx et lavere iltindhold i vandet eller unaturligt høje koncentrationer af sulfid i havbunden.

CRK, Kilder: Det Naturvidenskabelige Fakultet, SDU
PLOS ONE:. DOI:10.1371/journal.pone.0129136 June 1, 2015.

Botaniske mirakler i Filsø

Andetsteds i dette nummer kan du læse om de positive erfaringer med den genskabte Filsø i Vestjylland. Og de positive nyheder vedbliver med at hobe sig op. Ved en omhyggelig gennemgang af kæmpesøens vegetation i dagene 24. til 27. august i år fandt botanikere fra Københavns Universitet og Jylland i alt 52 arter af vandplanter. Lægger vi fire krydsninger og underarter til, havner vi på tallet 56. Artsrigdommen overstiger måske tallet i de allermest artsrige naturlige store søer i Danmark. Ingen tvivl, Filsøs samlede artsdiversitet af vandplanter er efter blot tre år røget helt til tops.

Foto: Jens Chr. Schou.

Krybende Søpryd udvikler smukke røde blomster, når den blotlægges.

Det mest bemærkelsesværdige er måske, at fire små nøjsomme arter, som karakteriserede den oprindelige næringsfattige klitsø, er kommet tilbage. Vandpeber-Bækarve, der har tre-fire voksesteder i Danmark er indvandret. Krybende Ranunkel, Strandbo og Vandportulak, begge karakterarter for de fåtallige næringsfattige søer, er også dukket op.

Den smukke og pivsjældne art, Krybende Søpryd, som senest er dokumenteret i Danmark i 1975 i en mose vest for Filsø i 1975 blev fundet i 13 bestande i den genetablerede Filsø.

To arter, der først for nylig er blevet fundet i Danmark, vokser i dag i Filsø. Butfrugtet Vandstjerne er talrig, mens den anden nyindvandrer til Danmark, Rød Andemad optræder fåtalligt. Vi har også fundet en lang række arter i slægterne Vandaks og Vandstjerne, der ikke var kendt fra den oprindelige sø.

Der er flere sandsynlige grunde til den usædvandligt høje artsrigdom af vandplanter i Filsø. De fleste arter har nok været til stede i nabolaget og er blevet fløjet ind med de mange fugle, som flytter sig op og ned langs den jyske vestkyst. Planterne har så haft optimale muligheder for at etablere sig på lavt vand og på ubevoksede søbredder i søens første år. Takket været størrelsen, har Filsø tilbudt masser af plads for nye arter.

Søbredderne græsses mange steder af kreaturer eller store gåseflokke, som holder vegetationen lav og forhindrer, at store arter udskygger små arter og monopoliserer vegetationen. Artsrigdommen er så meget mere bemærkelsesværdig, da vandet i Filsø fortsat er ganske uklart.

Kaj Sand-Jensen, professor ved Københavns Universitet

På jagt efter videnskabelige gennembrud

Mange forskere interesserer sig for bombarderbillen – især ingeniører! Sagen er, at billen er i stand til at sende en ladning gift ud i en lille eksplosion, men ved lavt tryk. Den kunst vil ingeniører gerne kunne gøre efter, og det har bl.a. udmøntet sig i forslag til en ny type forstøvningssystem til industrien, som i stedet for højt tryk bruger varme til at producere de bittesmå væskedråber.

Denne lærerige historie om inspiration på tværs af fagområder er baggrunden for en dansk startup-virksomhed kaldet Unsilo, som har udviklet en søgeteknologi, der skal gøre det lettere at gøre nye videnskabelige opdagelser. Det skriver it-mediet *Version2*, der udgives af mediehuset *Ingeniøren*. Selvom forskere i dag har let adgang til alverdens viden, er mængden af videnskabelig litteratur i dag så overvældende, at det kan være som at finde en nål i en høstak at finde netop den detalje, som fører til et videnskabeligt gennembrud. Som eksemplet med bombarderbillen viser, sker gennembrud ofte, når viden kombineres på tværs af fagområder – fx på tværs af biologi og ingeniørkunst – men de to faggrupper går sjældent til hinandens konferencer eller læser hinandens afhandlinger. Så her er man afhængig af intelligente søgninger i litteraturen. Søger man blot med Google, vil resultaterne afspejle det mest populære indhold. Men hvis netop den interessante detalje for en ingeniør står på side 5 i en afhandling om et biologisk emne, er det meget usandsynligt, at man får den frem i sine søgninger.

Den udfordring har Unsilo taget op. Bag virksomheden står Thomas Laursen og Mads Rydahl, hvor sidstnævnte har været produktions- og designchef på den personlige digitale assistent Siri, der siden blev solgt til Apple og nu findes på millioner af iPhones verden over.

I Unsilos teknologi bruges erfaringerne fra Siri med at få computere til at forstå menneskesprog (Natural Language Processing – NLP) sammen med "machine learning" til at analysere millioner af forskningsartikler på tværs af fagområder og registrere betydningen af alle sætningerne. Kunsten er at forstå logiske sammenhænge, og hvordan forskellige ord refererer til hinanden, og også at forstå ord med flere mulige betydninger, afhængigt af sammenhængen.

Oprindeligt var ambitionen at lave en global søgemaskine for al forskning, men det har ikke været muligt, da de fleste videnskabelige artikler er ejet af en lille gruppe forlag. I stedet har firmaet lavet aftaler med nogle af de største videnskabelige forlag som *Springer Nature* om at bruge søgeteknologien på forlagenes egne udgivelser.

CRK, Kilde: Version2, 21. august 2015.

Når kontinenter bryder op

For omkring 130 millioner år siden begyndte de to kontinenter, der i dag udgør Afrika og Sydamerika at bevæge sig væk fra hinanden, da den vestlige del af "superkontinentet" Gondwana begyndte at bryde op. En udbredt teori er, at en såkaldt kappediapir – kaldet Tristan-kappediapiren – havde en afgørende finger med i spillet i denne proces. Kappediapirer er enorme mængder varm magma, som trænger op dybt nede fra Jordens kappe, og disse opstigende "bobler" af magma kan have diametre på flere tusinde kilometer. De menes at være en vigtig drivkraft i pladetektonik, da de er i stand til at smelte sig op igennem Jordens yderste lag (lithosfæren) og dermed svække denne. På overfladen opstår vulkaner, hvor enorme mængder vulkansk materiale (flodbasalt) udspys. Dette er også tilfældet i det sydlige Afrika og Sydamerika, hvor man kan finde områder med flodbasalter fra det tidspunkt, hvor superkontinentet Gondwana brød op. Den nydannede vulkanske havbund ud for Namibias kyst vidner også om opbrydningsprocessen, idet denne populært sagt afspejler et spor, som kappediapiren har sat sig i takt med, at det sydlige Atlanterhav har åbnet sig mellem Afrika og Sydamerika.

Der bores i undergrunden i det nordlige Namibia for at gøre klar til seismiske undersøgelser.

Foto: C. Haberland, GFZ

Tyske forskere har imidlertid nu i tidsskriftet *Geology* sat spørgsmålstegn ved teorien om, at Tristan-kappediapiren har været vigtig for opbrydningen af Gondwana. Ved hjælp af seismiske undersøgelser har de indgående studeret i undergrunden i området med flodbasalt i det nordlige Namibia og den vulkanske havbund ud for kysten. Forskerne kunne som forventet tydeligt identificere strukturer i undergrunden i 20-40 km's dybde, som kan knyttes til, at magma er trængt ind i de nedre lag af jordskorpen. Men til forskernes overraskelse var størrelsen af denne zone alt for lille til, at den kunne være skabt af hovedet af en stor kappediapir, som har spillet en aktiv rolle i opbrydningen af kontinentet. Det stiller ifølge forskerne også mere generelt spørgsmålstegn ved kappediapirers betydning, når kontinenter bryder op.

Kilder: Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Geology, Vol. 43, p. 739-742

Fagligt
Udviklende
Karrierefremmende

Science på RUC
Naturvidenskab i virkeligheden

Mød RUC's studerende på Uddannelseskaravanen

Kom og hør om de mange og spændende muligheder, det giver at læse naturvidenskab på Roskilde Universitet

Måske gæster vi netop DIN skole i uge 40-46-47-48. Tjek det på uddannelsekaravanen.dk

Læs om Science-uddannelserne på ruc.dk/science

Naturgenopretning
– nu med videnskab

Mange danske søer og vandløb er blevet genoprettet, uden at deres udvikling efterfølgende er blevet dokumenteret. Det gør vi til gengæld i den nyskabte Filsø og den lysåbnede Øle Å på Bornholm for at høste viden og nødvendige erfaringer om optimal naturforvaltning.

Forfatterne

Kaj Sand-Jensen,
Professor, Ferskvands-biologisk Sektion (FBS), KU
ksandjensen@bio.ku.dk

Lars Båstrup-Spohr,
postdoc, FBS
lbaastrupspohr@bio.ku.dk

Theis Kragh,
lektor, FBS
tkragh@bio.ku.dk

Kathrine Petersen,
Videnskabelig assistent, FBS
kpetersen@bio.ku.dk

Jonas Morsing
ph.d.-studerende, Skov, natur og biomasse, KU
jmt@ign.ku.dk

I de seneste 30 år har Danmark været et foregangsland ved at etablere 50 nye større søer (> 10 ha). Mange tusinde damme er også blevet gravet og har sikret sjældne padders overlevelse. Mange åer er blevet restaurerede ved at genslynge dem, udlægge gydegrus og fjerne opstemninger, som hæmmede laks og ørreds vandringer. Små rørlagte bække er blevet frilagte og løber atter synlige i landskabet. Denne kostbare indsats skulle modvirke det voldsomme tab af natur og biodiversitet som afvanding, tørlægning, kanalisering og rørlægning overalt i landet medførte i de foregående 200 år. Nye søer og genslyngede åer skulle også fjerne næringsstoffer og dermed nedsætte forureningen af nedstrøms søer og kystvande.

Nye eller restaurerede søer, damme, åer og bække har da også i meget høj grad beriget det danske landskab samt øget biodiversiteten. Desværre har vi med få undtagelser ikke fulgt udviklingen i miljø- og naturkvalitet tæt efter indgrebene, selv om denne indsats er billig sammenlignet med milliardudgifter til opkøb af landbrugsjord, anlægsarbejder og projektering. Vi har systematisk forsømt at dokumentere det konkrete udbytte af indsatsen. Vi kender ikke den form, dybde og vandføring, der kan sikre de bedste søer ved fremtidige projekter. Vi har heller ikke overblik over, i hvilken grad nye søer oprettet for at fjerne kvælstof og fosfor lever op til formålet. I flere tilfælde foreligger der ikke en eneste måling. Vi famler derfor delvis i blinde ved fremtidige naturgenopretninger.

Hvorfor mangler målingerne?

Der er sandsynligvis flere grunde til, at offentlige myndigheder ikke har fulgt miljø- og naturudviklingen i nye og restaurerede søer og vandløb. Der har måske manglet ekspertise, tradition, økonomi og et reelt ønske om at prioritere indsatsen. Man har også systematisk undladt at inddrage forskere i planlægning og målinger, måske fordi man opfatter dem som for akademiske, mens man selv kommer fra de praktiske løsningers verden. Men pointen er, at kombinationen af den praktiske erfaring og den akademiske baggrund netop kan sikre en god samlet pakke: en storstilet praktisk indsats, relevante målinger og præcise vurderinger af forløbet.

Følger man ikke udviklingen, kan man som bekendt ikke vide, hvordan det er gået og lære af sine valg. Og vi er forpligtiget til at kunne dokumentere, at offentlige midler anvendes med konkret udbytte. Til sammenligning ville vi stejle, hvis lægen sagde: "vi vil gerne operere dig for din skavank, men vi vil ikke ofre penge på at undersøge dig før eller efter operationen. Vi ved heller ikke,

Fosfor i bunden af Filsø

Vi formodede på forhånd, at fosfor i bunden af Filsø kunne udgøre en tikkende bombe mange år efter, at de dyrkede jorder blev oversvømmet. Det ved vi nu ikke er tilfældet. Allerede efter det første år er fosforindholdet i de øverste 2 cm af bunden reduceret meget markant pga. bølgernes ophvirvling af bundpartikler og udskylning af fosfor via udløbet. Efter ganske få år vil dyrkningsbomben derfor være demonteret i Filsø og være spredt til Vesterhavet eller begravet permanent i de dybe lag i søbunden.

Figuren viser det totale fosforindhold i lag på 1 cm's tykkelse ned gennem de øverste dybdezoner under 1 m² af søbunden.

hvilken operation der giver det bedste resultat." Der har eksisteret en kultur, hvor resultater af naturgenopretninger ofte ikke bliver gjort op. Men selv, når det er sket, er erfaringerne tit blevet glemt i utilgængelige rapporter, og det overordnede billede af de mange indsatser er ikke blevet sammenstillet til en praktisk vejledning i, hvordan det bedste udbytte opnås.

Indsatsen er ikke spildt. Absolut ikke! De åbenbare resultater af naturgenopretninger er mange steder fantastiske. Naturen er taknemmelig og kommer sig, når den får plads. Men da vi for sjældent kender det præcise resultat, ved vi ikke, hvordan vi når det bedst mulige resultat næste gang. Naturgenopretning og forvaltning er stadig "trial and error". Vi kan derfor opfordre til, at man skaber overblik og sammenstiller viden i tidsskrifter og på hjemmesider oprettet til formålet som *conservationevidence.com* og *naturdok.dk*. Som lægebehandling skal naturgenopretning og forvaltning gerne bygge på "evidens", altså videnskabelig dokumentation og viden om sammenhæng mellem årsag og virkning.

Søers kvalitet kan vurderes med traditionelle næringsmodeller. Men det giver ikke den tilstrækkelige baggrund ved etablering af en ny sø som Filsø på en næringsrig landbrugsjord, for dens næringsudveksling er af en helt ny og ukendt beskaffenhed. Fældning af granerne langs Øle Å på Bornholm ændrer også lyset, kemien og afstrømningen på ukendte måder. Udviklingen kan derfor kun afdækkes med omhyggelige målinger.

Den genskabte Filsø

Den nye Filsø blev etableret af Aage V. Jensen Naturfond ved at oversvømme landbrugsjorder fra det nedlagte svinebrug ude bag klitterne ved Henne Strand. Filsø på 2000 ha var oprindeligt Jyllands største sø, før afvandingerne begyndte for 150 år siden. I sin nye skikkelse på 915 ha er Filsø den

Baggrundsfoto: Den nyetablerede Filsø i det åbne landskab inden for klitrækken ved Henne Strand.

Foto: Theis Kragh

Udsigt over den nyetablerede Filsø, lige efter, der blev ledt vand ind over de dyrkede jorder. Man ser traktorsporene gå direkte ud i den nye sø.

Foto: Theis Kragh

Strandene var det første år præget af sammenskyllede planterester fra den tidligere korndyrkning, men allerede året efter var de fleste planterester forsvundet og strandbredden er sandet pga. bølgernes påvirkning.

Foto Theis Kragh.

Vandet var meget brunt det første år efter genopretningen (tv), men var blevet mere klart i det andet år og vandplantebestandene også rigere på arter (th).

Fotos Theis Kragh.

næststørste jyske sø. Genskabelse af så stor en sø i et tæt befolket og intensivt dyrket land som Danmark er en bedrift, der vækker begejstring blandt lokale, besøgende og forskere. Situationen er helt ny, og man må være indstillet på store forskelle sammenlignet med naturlige søer. Uden de løbende målinger ville vi ikke have anet, hvad der foregik.

Filsø er lavvandet, og vandet skiftes i gennemsnit ud på blot 70 dage; hurtigere om vinteren og langsommere om sommeren. Søens størrelse, kraftig vind fra Vesterhavet og lave dybder betyder, at bundens overflade hvirvles op af de krappe bølger. Store fosforpuljer (omkring halvdelen) fra den tidligere dyrkning er derfor tabt fra de øverste 2 cm af søbunden i de første par år. Fra maj 2013 til marts 2014 modtog Filsø 4,1 tons fosfor med tilløbene, mens 6,4 tons fosfor forlod søen. Søvandet er uklart her i Filsøs første leveår bl.a. som følge af mange brunfarvede humusstoffer, der opløses fra efterladte planterester i søbunden. Indholdet af humusstoffer er næsten halveret fra 2013 til 2014, fordi planteresterne i bunden nedbrydes og forsvinder. Denne udvikling vil fortsætte i de næste år. Men hvor klart søvandet ender med at blive afhænger af flere forhold, som vi ikke har sikre prognoser for. Vi bliver nødt til at måle os frem. I øjeblikket er der rigeligt med næring i vandet, og algernes udvikling er begrænset af lyset. Men beregningsmodeller forudsiger, at fosforindholdet i indløbet og plantedækket på bunden i fremtiden bliver afgørende for algernes udvikling. Med den nuværende tilførsel af fosfor med indløbet og 40 % plantedække vil lyset trænge ned til bunden på over 1 meter, men bliver plantedækket ubetydeligt, forventes søvandet at forblive mere uklart som følge af algeopblomstringer.

Glædelige overraskelser

Den hurtige indvandring af vandplanter til Filsø har været en glædelig overraskelse. I søens anden sæson voksede 32 vandplantearter i søen, heriblandt to yderst sjældne arter. Artstallet ligger allerede på samme høje niveau som i de mest planterige, naturlige søer i Danmark. De mange plantearter er sandsynligvis spredt med tusindtallige flokke af svømmeænder og svaner, der bevæger sig mellem Filsø og nabosøer langs Vestkysten. Vegetarer blandt fuglene havde i november 2014 ædt de fleste grønne skud af årets planter. Den første sommer har Filsø

Trepigget hundestejle indvandrede → først til Filsø og blev efterfulgt af skalle (foto↓), flire og brasen og senere af rovfisken, gedde.

Flire →

Aborre er nu blevet udsat for at ophjælpe bestanden af ynglende fisk således at Filsø hurtigt kan få en sund bestand af rovfisk. →

Fotos Theis Kragh

huset landets eneste ynglepar af sandterne og nordisk lappedykker. Nordisk lappedykker har sikkert nydt godt af de mange små hundestejler, som dominerede i Filsøs første sæson, og som er en passende mundfuld.

Allerede i den anden sæson er en mere blandet fiskebestand med dominans af skalle rykket ind i søen efterfulgt af strømskalle, flire, hork, ål, aborre, brasen og gedde. For søens velbefindende er det vigtigt, at aborre og gedde kan holde skallerne i skak. Indhøstede data er derfor allerede blevet brugt som begrundelse for at øge aborrebestanden. Skallerne skal gerne begrænses, fordi de æder dyreplankton, som så ikke kan bremse algeopblomstring. Skallerne er imidlertid ikke nemme at styre. I vinteren 2014-2015 forlod de næsten alle den fødetomme sø og stod tæt pakkede oppe i tilløbene uden at tage føde til sig, men i sikkerhed for at blive ædt af gedder, som lurede ved udmundingen af tilløbene. Odderen passerede udmundingen hver morgen og snuppede sin morgen-gedde.

Filsø er den vigtigste og største af nye danske søer, og den er blevet en magnet for besøgende i Vestjylland. De fleste nye søer er lavvandede som Filsø, men de oplever mindre bølgepåvirkning af bunden, ligesom vandskiftet varierer. Vi må derfor ud at måle på flere af disse søer for at kunne vurdere deres tilstand og fremtidsudsigter. At naturen er spændende og meget dynamisk viser observationerne til gengæld med al tydelighed.

Øle Å – naturgenopretning under lup

Langs Øle Å på Bornholm er der også gennemført naturgenopretning under stor bevågenhed. Projektet er støttet af Villum Fonden, og udviklingen følges tæt, næsten som i et eksperimentelt forskningsprogram. Øle Å udspringer i Ølene midt på øen, løber ureguleret i sprækker i grundfjeldet gennem Poulsker Plantage og fortsætter mod sydøst hen over landbrugslandet for at ende i Østersøen. Poulsker Plantage ligger mellem Paradisbakkerne og Almindingen, som er hjørnestene i ferieøens højt besungne natur. De øvre 4 km af Øle Å har et uforstyrret og smukt varieret forløb med en fin bestand af smådyr. Da området har et højt naturpotentiale, og stier og småveje gennem området forbinder Paradisbakkerne og Almindingen, er der stor interesse for at øge naturkvaliteten.

Fotos: Jonas Mørsing

Øle Å omgivet af tæt granskov før fældningen (tv), og samme sted efter fældningen (th). Vi forventer, at den blandede bevoksning kan komme til at se ud som på det øverste billede.

Ilt i Øle Å

Jordlaget er tyndt over klipperne i Øle Å's øvre løb. I tørre somre risikerer åen derfor at tørre ud. Udtørring kan forklare, at ørred mangler i åens øverste afsnit. Men selv længere nede kan det være småt med vand og deraf følgende risiko for iltsvind. I takt med, at vandføringen falder, forsvinder ilten fra vandet, fordi bundens iltforbrug sker fra stadigt mindre vand- og iltpuljer. Vi formoder, at ørred overlever ved at flytte sig til nogle lokale pytter i vandløbet med lidt mere vand og ilt, men vi har endnu ikke påvist, at det sker.

Der er et lavt iltindhold i vandet i tørre perioder om sommeren, mens øget nedbør og vandtilførsel øger iltindholdet.

Der er en snæver sammenhæng mellem faldende iltindhold og reduceret vandføring om sommeren.

Borgerinddragelse

De store fonde ønsker at inddrage lokale naturinteresser ved naturgenopretninger for at styrke det lokale engagement og ejerskab. Allerede flere år før Filsø genopstod, argumenterede en aktiv lokalgruppe af ornitologer samt arbejdsgruppen Filsøs Venner for at genskabe søen. I dag varetager Naturrådet information til offentligheden og rådgiver fonden om Filsø. Naturrådet har faglige eksperter fra Dansk Ornitologisk Forening, Danmarks Naturfredningsforening, Friluftsrådet samt Aage V. Jensen Naturfond.

På Bornholm tog skovejeren initiativ til Det Grønne Partnerskab med deltagelse af private, interesseorganisationer og myndigheder, der diskuterer Øle Å projektets udformning og resultater. Lokale hensyn kommer derfor til orde. Således blev kulturspor som hulveje og stenbroer og sjældne arter identificeret, så de ikke blev ødelagt under træfældningen.

Både på Filsø og ved Øle Å tæller lokale ornitologer fuglene, og lystfiskere assisterer ved befiskning som grundlag for videnskabelige vurderinger. Andre lokale indsamler vandprøver og holder øje med dyrt udstyr. På den måde er engagerede personer guld værd ved at holde øje med arternes udvikling, forhindre overgreb og sprede information og engagement i lokalmiljøet.

Vi undersøger både de æstetiske og økologiske konsekvenser på land og i vand af at fælde den tætte, mørke granskov, der står tæt klinet op til Øle Å på dens vej gennem Poulsker Plantage. Vi har derfor undersøgt forholdene både før og efter granerne blev fældet i efteråret 2014. Udgangspunkt er således klassisk naturgenopretning – men så alligevel ikke. Vi inddrager konsekvenser både på land og i vand, opstiller økologiske hypoteser og vurderer også naturkvaliteter som lystfiskere, ornitologer og vandrere oplever dem. Vi har forskelligartede strækninger langs Øle Å, inklusive indskudte kontrolområder, hvor granskoven får lov til at overleve. Et nabovandløb fungerer som kontrolområde, der skal korrigere for år-til-år variationer i klima, vandføring og vandkemi, som påvirker naturudviklingen efter fældningen af granerne. Det minder altså om videnskabeligt forsøgsdesign, selv om vi gerne ville have haft flere forsøgs- og kontrolvandløb. Her må det forkromede overblik etableres ved at sammenligne med udvikling fra vandløb andre steder, der har oplevet et lignende indgreb.

Fra beskrivelse til forudsigelse

Fældning af granskoven kan forventes at mindske den årlige fordampning med 200-300 mm og dermed øge vandtilførslen til åen. Det reducerer risikoen for sommerudtørring og høje vandtemperaturer og iltsvind ved lave vandmængder, som er kritiske for smådyrs og især ørreds overlevelse. Fældningen af granerne og fremvækst af en naturlig vegetation vil åbne op for mere lys til vandløbet, øge væksten af alger på bunden og dermed øge mængde og kvalitet af føde til smådyrene. Vi forventer derfor, at biodiversiteten af planter og smådyr på land og i vand vil stige efter indgrebet. For at kunne følge udviklingen løbende, er omgivelserne og vandløbet udstyret med snesevis af automatiske sensorer, der kontinuerligt måler lys, temperatur, fugtighed, vandmængder, pH, ilt, opløst organisk stof mv.

Vi vil også meget gerne flytte fokus i naturforvaltningen fra alene at beskrive til at kunne forudsige specifikke konsekvenser af indgrebene i fremtiden. Derfor måler vi planternes biologiske karaktertræk i sammenhæng med miljøforholdene. Målet er at kunne forudsige arternes tilstedeværelse, hyppighed og den samlede biodiversitet alene ud fra de forventede fremtidige forhold i omgivelserne. Vi vil gerne ændre økologien fra at være bagudrettet beskrivende til fremadrettet forudsigende, så vi i fremtiden kan opstille mere sikre forudsigelser af, hvilke arter der kan forventes at optræde efter naturgenopretning og naturpleje. Derfor må vi have nøje tjek på miljøforholdene, der styrer arternes forekomst og hyppighed. Studier af naturkvalitet og biodiversitet uden kendskab til miljøforholdene fører nemt til, at man ikke kan forudsige udviklingen i fremtiden. ■

Videre læsning
Mere om overvågning af naturgenopretninger:

Stewart GB, Coles CF, Pullin AS 2005. Applying evidence-based practice in conservation management: Lessons from the first systematic review and dissemination projects. Biol. Conserv. 126, 270-278.

Mere om Filsø:
Sand-Jensen K, Kragh T, Petersen K, Båstrup-Spohr L, Schou, JC, Moeslund B og Holm P 2014. Miraklet i Vestjylland – den genoprettede Filsø. URT 38. årgang nr.4: 114-123.

Studieretningsprojekter på SDU

Igen i år udbyder Det Naturvidenskabelige Fakultets forskere og ph.d.-studerende øvelser i forbindelse med studieretningsprojekterne på STX og HTX.

Find tilbudene på www.sdu.dk/brobygning

SYDDANSKUNIVERSITET.DK

Er vandremuslingen en trussel i danske vandløb?

Undersøgelser i Gudenåen tyder dog på, at det næppe vil blive tilfældet.

Om forfatterne

Sara Elizabeth Elsborg Andersen er uddannet cand. scient. i biolog på Institut for Bioscience, Akvatisk biologi, Aarhus Universitet.
sara.e.e.andersen@gmail.com

Tenna Riis er lektor ved Institut for Bioscience, Akvatisk biologi, Aarhus Universitet
tenna.riis@biology.au.dk

I løbet af de seneste 175 år er den lille zebrastribede vandremusling dukket op i flere danske ferskvandssystemer, og i en række søer findes den i stort antal. I vandløb findes den indtil videre kun hyppigt på strækninger, der ligger umiddelbart nedstrøms søer med store vandremuslingebestande. Vandremuslingen har været kendt fra Furesøen på Sjælland siden 1846, og det er formodentlig herfra den har spredt sig til andre søer.

Vandremuslingen beskrives som invasiv i en række af de søer, hvor den findes, på grund af de negative effekter, den har på de hjemmehørende arter, når den bliver meget talrig. Den kan reducere den overordnede diversitet i søen, idet den bruger andre dyr, bl.a. muslinger og guldsmedelarver, og vandplanter som substrat at sidde på. For dyrenes vedkommende kan konsekvensen være, at deres mobilitet hæmmes, og derudover er vandremuslingerne en direkte konkurrent til føden, da de hjemmehørende muslinger også lever som filtratorer. For planterne kan det betyde reduceret lystilgængelighed. Vandremuslingen ændrer også næringsstofomsætningen ved bunden, da den producerer store mængder organisk affald (pseudofækalier), som omsættes af bundlevende organismer. Det kan føre til ændret faunasammensætning med større dominans af smådyr og fisk, der søger føde ved bunden. I vandløb udgør vandremuslingerne også en trussel over for laksefiskene, da muslingebanker på gydegruset kan hindre fiskene i at gyde.

Vandremuslingen er så effektiv til at filtrere vandet for partikler i forhold til de hjemmehørende filtratorer, at vandsøjlens indhold af klorofyl a (mål for mængden af mikroalger) er faldet markant i flere søer med mange vandremuslinger. Faktisk renses vandet så betydeligt, at det flere steder har haft en positiv effekt på vandplanternes dybdeudbredelse. Det er generelt positivt, at vandet bliver klarere, men den større mængde planter i vandet betyder også, at vandstanden stiger med større risiko for oversvømmelse af sø- og å-nære arealer.

Undersøgelser af vandremuslinger i Gudenåen

For at vurdere risikoen for at vandløb nedstrøms søer med vandremuslinger bliver domineret af vandremuslingen har vi undersøgt vandremuslingers vækst og kondition i Gudenåen nedstrøms Silkeborg Langsø. På de første tre km i Gudenåen nedstrøms Silkeborg Langsø findes en population af vandremuslinger, der

Vandremuslingens biologi

Vandremuslingen lever af at filtrere vandet for organiske partikler (5-40 µm). Når vandremuslingen er voksen (ca. 1 cm lang), sidder den fasthæftet til fast substrat som fx sten med særlig hæftetråde kaldet byssustråde, som man i Danmark ellers kun kender fra den marine blåmusling. Vandremuslingen kan ikke leve, hvis der ikke er fast substrat at slå sig ned på. Vandremuslingerne kan desuden bruge andre dyr eller hinanden at sidde på og kan på den måde opnå meget høje individtætheder på op mod 70-100.000 individer/m^2. Det svarer til, at søbunden er belagt med flere lag af muslinger.

Vandremuslingen spredes med ballastvand, fiskegarn, vådt badetøj osv. mellem vandsystemer, og det er primært mennesker, der er årsag til, at de flytter sig fra system til system. Inden for et vandløbssystem, fx mellem to søer, der er forbundet af et vandløb, kan vandremuslingen spredes i strømmens retning fra den ene sø til den anden.

Vandremuslingens spredning i Danmark siden 1840'erne.

Forsøg med vandremuslinger

Illustration af forsøgsstrækningen med den faste population af vandremuslinger i søen og ned i vandløbet samt stationer hhv. 0,1, 3, 9 og 17 km nedstrøms søen, hvor voksne individer af vandremuslinger blev udsat i 3 måneder (17. juli til 17. oktober 2013) for at måle deres vækstrater.

Sten med fasthæftede muslinger blev spændt fast på en metalplade med plastikstrips. Her er vist en sten med muslinger, der hver har fået en farvekode, så de kan genkendes og måles ved forsøgets start og slut. Metalpladen sænkes ned i vandet og lægges fladt på vandløbsbunden. Der blev sat omkring 100 individer ud ved hver station.

Muslingernes kondition udtrykt som gennemsnitlig tørvægt (g) af muslingeindivider som funktion af muslingernes skallængde (mm; kategorier af intervaller på 5 mm). Muslinger er indsamlet 3. september 2013. For muslinger >16 mm lange er tørvægten og dermed konditionen signifikant højere på stationen 3 km nedstrøms søen i forhold til stationen 0,1 m nedstrøms søen.

Koncentrationen af klorofyl a i vandsøjlen (µg/L) målt på stationer med stigende afstand til søen. Værdier er gennemsnitlige værdier af 7 prøver for perioden juni til oktober 2013. Koncentrationen af klorofyl a er signifikant højere på stationen 0,1 km nedstrøms søen, mens der ikke var signifikant forskel på de andre stationer.

Tæthed af muslingeindivider (m^{-2}) beregnet på fire stationer i Gudenåen med stigende afstand til Silkeborg Langsø i den faste population. Målinger foretaget den 2. september 2013.

En koloni af vandremuslinger (*dreissena polymorpha*).

Foto: shutterstock

har været stabilt forekommende de seneste ca. 10 år. I løbet af den periode har man nogle somre fundet vandremuslinger spredt hele vejen fra Silkeborg og ud til Randers Fjord, mens deres udbredelse andre år har været mere begrænset. Vi ønskede at klarlægge, om muslingernes forekomst nedstrøms i vandløbet kunne skyldes fødebegrænsning i form af alger i vandsøjlen, idet algebiomassen generelt er lavere i vandløb end næringsrige søer på grund af vandets korte opholdstid i vandløb i sammenligning med søer. For at undersøge det opstillede vi to forsøg i felten, hvor vi dels undersøgte muslingernes kondition i den faste population nedstrøms Silkeborg Langsø, dels undersøgte udsatte muslingers vækstrater på fire forskellige steder i vandløbet nedstrøms en sø. Hvis muslingerne var fødebegrænsede forventede vi at finde en dårligere kondition af muslingerne længst væk fra søen i den faste population pga. mindre fødetilgængelighed i form af alger fra den næringsrige sø, og en lavere vækstrate af muslinger udsat nedstrøms i vandløbet i forhold til den faste population.

Vores forsøg viste dog, at det ikke er fødemangel, der begrænser muslingernes udbredelse. Faktisk havde muslingerne tættest på søen en dårligere kondition end dem, der var 3 km fra søen, selvom algebiomassen i vandsøjlen som ventet var højest tæt på søen. En mulig forklaring kan være, at konkurrencen mellem muslingerne er størst tæt på søen, hvor individtætheden er højest.

Vi kunne også afvise, at begrænsningen i udbredelse skyldes mangel på egnet substrat, muslingerne kan sætte sig fast på.

Metapopulationer

Resultaterne af vore undersøgelser samt tidligere observationer af vandremuslinger nedstrøms Silkeborg Langsø tyder på, at muslingerne kun kan være dominerende meget tæt på søen. Deres udbredelse i Gudenåen følger tilsyneladende et klassisk mønster for dynamikken af såkaldte metapopulationer.

Metapopulationer er mindre populationer, der udspringer fra en fast, etableret population (kildepopulation), og som pr. definition ikke kan opretholde sig selv, dvs. reproducere nok yngel til at holde populationen ved lige. En metapopulation er afhængig af kontinuerlig rekruttering af nyt yngel fra kildepopulationen. Derfor bliver populationerne små, spredte og ustabilt forekommende fra år til år.

Den primære begrænsende faktor for vandremuslingens udbredelse nedstrøms i Gudenåen er sandsynligvis, at larverne har svært ved at slå sig ned i det strømmende vand. Jo længere væk fra søen, hvor de fleste larver bliver produceret, jo færre larver når frem til lokaliteten, og jo lavere er sandsynligheden for at populationen kan bestå. En anden mulig faktor, der kan have betydning for metapopulationernes udbredelse og variation mellem år, er længden af vinteren og vintertemperaturen. En kold og lang vinter vil betyde, at forårets algeopblomstring i søen kommer senere, og færre muslinger vil sandsynligvis reproducere. Desuden er vandremuslingens filteraktivitet påvirket af vandtemperaturen, så den er stærkt nedsat ved temperaturer under 3 °C. Strenge vintre kan således være med til at holde metapopulationer nede.

Ingen invasion i vente

Konklusionen af vore undersøgelser er dermed, at vandremuslingens invasive adfærd i Danmark sandsynligvis vil være begrænset til søerne. Selvom vandremuslingerne har gode spredningsmuligheder til vandløb fra søer, som i tilfældet fra Silkeborg Langsø, vil antallet af muslinger være begrænset af muslingelarvernes succes med at sprede sig og etablere sig fra søerne. Denne succes afhænger højst sandsynlig af larveproduktionen i søen og nedstrøms afstand fra søen. I stedet for en invasion af vandremuslinger i vore vandløb vil vi derfor formodentlig i fremtiden se små metapopulationer tidvist etablere sig nedstrøms søer med vandremuslinger for så at forsvinde igen, fx efter en hård vinter. ■

Kilder og videre læsning

Gudenåkomiteen (2009): Opsummering om foreliggende viden om vandremuslingens biologi og økologi med fokus på forekomsten i Danmark og betydningen for vandløbs- og søforvaltningen i Gudenåsystemet. Rapport til Gudenåkomiteen. Udført af Orbicon A/S.

Karatayev. A. T., Burlakova L. A., and Padilla, D. K,: (1998): "Physical factors that limits the distribution and abundance of *Dreissena polymorpha* (Pallas)". *Journal of shellfish research*, Vol. 17, No. 4, 1219-1235

Naturstyrelsen (2012): Vandremuslingens effekt på de biologiske forhold i søer og ferskvandssystemer. Rapport til Naturstyrelsen. Udført af Orbicon A/S.

Stoeckel J.A., Schneider D.W., Soeken, L. A., Blodgett K.D. and Sparks R.E. (1997): "Larval dynamics of riverine metapopulation: Implications for zebra mussel recruitment, dispersal and control in a large-river- system". *Society for freshwater science*, vol 16, No. 3, s. 586-601.

ER DU I TVIVL OM DIT KOMMENDE STUDIEVALG?

BLIV **STUDERENDE FOR EN DAG**

Overvejer du at læse på universitetet – måske en naturvidenskabelig uddannelse eller en ingeniøruddannelse?

Så har du mulighed for at blive 'studerende for en dag' på Aarhus Universitet

Se hvilke uddannelser der tilbyder 'Studerende for en dag' og læs mere på

- Oplev hverdagen som studerende
- Vær med til både undervisning og andre faglige aktiviteter
- Stil alle dine spørgsmål direkte til en studerende
- Måske bliver du klogere på dit studievalg

SCITECH.AU.DK/STUDERENDEFORENDAG

AARHUS UNIVERSITET
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Solformørkelser og energiproduktion

Forfatterne

Bent Hansen Sass,
chefkonsulent ved DMI
bhs@dmi.dk

Kristian Pagh Nielsen,
Fysiker, ph.d., DMI
kpn@dmi.dk

Claus Petersen,
seniorforsker, DMI
cp@dmi.dk

Niels Woetmann Nielsen,
associeret lektor,
Københavns Universitet
nwn@dmi.dk

Lasse Diness Borup,
modeludvikler ved
Energinet.dk
LDB@energinet.dk

Under solformørkelsen den 20. marts 2015 faldt energiproduktionen fra sol og vind – både i Danmark og i andre dele af Europa. Jo mere vedvarende energi, der er installeret i elsystemet, jo vigtigere er det at kunne forudsige effekterne af en solformørkelse. Det klarer vejrmodellerne heldigvis godt.

For få årtier siden var det ikke interessant at tale om ændringer i den vedvarende energiproduktion i relation til en solformørkelse. I dag er situation anderledes, fordi der de seneste 10 -20 år er installeret så meget vedvarende energi fra sol og vind, at eventuelle pludselige ændringer i de meteorologiske forhold kan ændre balancen i el-systemet.

I Danmark er *Energinet.dk* ansvarlig for at opretholde denne balance. Ubalancer håndteres primært i et fælles nordisk elmarked, som kaldes regulerkraftmarkedet (se boks).

Forudsigelser af energi fra sol og vind i vejrmodeller, bl.a. fra DMI, anvendes i daglige procedurer for reguleringer af ubalance i el-systemet. Spørgsmålet er så, om modellerne kan forudsige de meteorologiske effekter af en solformørkelse med tilstrækkelig præcision og dermed forudsige faldet i energiproduktion fra vedvarende energikilder. Det har vi ved DMI undersøgt ved at studere solformørkelsen den 20. marts 2015 og udføre to prognoser for vejrudviklingen denne dag. Den ene prognose simulerer månens blokering af sollyset, mens den anden er en normal vejrprognose. Resultaterne har vi sammenlignet med dels teoretiske overvejelser, dels med de konkrete målinger af temperatur og vind samt opgørelser af den løbende energiproduktion fra vedvarende energikilder.

Dansk vedvarende energi under solformørkelsen

Opgørelser fra Energinet.dk for den løbende elproduktion fra vind og sol fra den 20. marts viser, at både elproduktionen fra vind og sol nåede lokale minima under solformørkelsen. Elproduktionen fra sol faldt ikke helt til 0 ved solformørkelsens kulmination, fordi kun 85 % af solskiven var dækket, da formørkelsen var på sit højeste i Danmark. Hvad der sikkert er mere overraskende for mange er, at vindenergiproduktionen også faldt under formørkelsen. Det gives der nedenfor en forklaring på. Faldet var på mere end 150 MW for vindmølleproduktionen over land vest for Storebælt, hvilket var mere end 5 gange den samlede energiproduktion fra solen på sit højeste niveau kl. ca. 12.

Fald i energiproduktionen

Figuren viser opgørelser fra Energinet.dk for den løbende elproduktion fra vind og sol den 20. marts 2015, hvor der var solformørkelse. Den grønne kurve viser den totale vindproduktion på dansk område (dvs. inklusive havmølleparker), mens den røde kurve viser produktionen fra landvindmøller vest for Storebælt. Bidrag fra solanlæg vises med den gule kurve. Bemærk, at skalaen for solenergiproduktion er en faktor 10 forskellig fra den tilsvarende for vindenergi. Det betyder, at produktionen fra solenergi kl. 12 kun er ca. 5 % af den samlede produktion fra vindmøllerne. De stiplede violette linjer viser start- og sluttid for solformørkelsen i Danmark (ca. kl. 9:40 og ca. kl. 12:00). Den mørke linje repræsenterer kulminationen af solformørkelsen, hvor ca. 85 % af solskiven i Danmark var dækket af månen.

← Foto af solformørkelsen i Danmark, marts 2015. Desværre var dagen præget af mange skyer, men indimellem var der kig til solen.

Foto: F. Baun

Det samlede relative fald for dansk område fra vindmølleproduktion var noget mindre. Det kan hænge sammen med, at den samlede vindmølleproduktion også omfatter havmølleparker. Vindenergiproduktionen over havet aftog ikke under solformørkelsen. Studerer man kurven over produktionen fra vindmøllerne, ser man, at produktionen begynder at aftage lidt før solformørkelsen. Andre meteorologiske forhold kan spille ind som forklaring på dette. Efter solformørkelsens afslutning kl. ca. 12 aftog produktionen fra Solen, mens produktionen fra vind steg. Det sidste hænger sammen med, at vindhastigheden over Danmark som følge af den almindelige vejrudvikling tiltog i løbet af dagen.

Solformørkelsens effekt på vind og temperatur

Faldet i solindstrålingen mellem kl. ca. 9:40 og 10:50 fører til en ændret energibalance ved jordoverfladen. Denne situation kan sammenlignes med solopvarmning, der aftager når det bliver aften. Ved solformørkelse sker processen blot hurtigere. Effekten er den samme: Temperaturen falder i den nederste del af atmosfæren. Den vertikale opblanding af luft i atmosfæren dæmpes, når der sker en afkøling tæt ved jorden i forhold til højere oppe. Derfor vil man teoretisk set forvente, at den friktion, som virker på strømningen tæt ved jordoverfladen, fordeles på et tyndere lag af luft. Som konsekvens bliver virkningen af friktionen mere effektiv og får vinden tæt ved jorden til at aftage og dreje til venstre. Sidstnævnte effekt optræder på den nordlige halvkugle på grund af af en ændret balance mellem friktionen og luftens acceleration i forbindelse med horisontale trykforskelle i atmosfæren samt acceleration som følge af bevægelse i forhold til jordens rotation. Sidstnævnte kaldes for Coriolis-accelerationen.

Hvis vinden i den nederste del af atmosfæren aftager, kan man forvente en aftagende energiproduktion fra vindmøller (hvis vinden er under 15-20 m/s, hvor møllernes ydeevne bliver maksimal, hvilket var tilfældet den 20. marts). Et fald i vindmølleproduktionen er netop, hvad der ses i målingerne fra Energinet.dk. Temperaturen fra målinger i 2 meters højde fra DMI's stationsnet viser et typisk fald på en enkelt grad. Vejtemperaturer faldt med op til ca. 3 grader. Over havet er temperaturændringerne ved overfladen små under solformørkelsen. Det skyldes, at Solens energi fordeles ned igennem det gennemsigtige vand og ikke kun afsættes i overfladen. Derfor sker der ikke nødvendigvis et fald i vindenergiproduktionen uden for landområderne.

Hvad fortæller vejrmodellerne?

For at undersøge effekten af solformørkelsen på vinden yderligere har vi som nævnt anvendt en operationel vejrmodel til retrospektivt at udføre to forskellige simuleringer (prognoser). Den ene prognose har ikke indbygget en solformørkelse, mens den anden simulering har indbygget, at solskiven gradvis tildækkes op til 85 % fra kl. 9:40 til kl. 10:50 og igen afdækkes gradvis i tiden frem til kl. 12.

Vind under solformørkelsen

På kortet er vist forskellen i vindens størrelse (fart) mellem en vejrprognose som gradvis ændrer solindstrålingen (85 % af solskiven dækkes midt i perioden for solformørkelsen den 20. marts) og en normal vejrprognose. Resultaterne viser en lavere vind over landområderne på typisk 1 m/s, med lokal maksimum op til 2 m/s.

Kurverne nederst viser en simulering af vindens størrelse og retning ved Flakkebjerg syd for Slagelse. De røde kurver er uden solformøkelse, mens der for de grønne kurver er indregnet effekten af solformøkelsen.

Regulerkraftmarkedet og solformørkelse

Alle aktører på elmarkedet kan købe og sælge strøm indbyrdes indtil en time før en given driftstime. Derefter er det kun muligt at handle på det såkaldte regulerkraftmarked. Dette er et fælles marked, hvor alle aktører kan tilbyde at skrue op eller ned for deres produktion eller forbrug. Det er dog kun de nationale systemoperatører, der kan handle på dette marked. Systemoperatørerne beregner løbende, om el-systemet vil være i over- eller underskud den kommende time og accepterer på den baggrund de billigste bud fra aktørerne.

Det er sjældent muligt at handle sig fuldstændig i balance i regulerkraftmarkedet. Da elektricitet skal bruges i samme sekund, det produceres, suppleres dette marked med hurtige automatiske reguleringer. Derfor har systemoperatørerne mulighed for, i driftstimen, at justere på dedikerede kraftværker, typisk til en dårligere pris end på regulerkraftmarkedet. Dette sker enten gennem en automatisk regulator, der løbende måler den aktuelle ubalance eller direkte ude ved produktionsanlægget ved at måle, om frekvensen er over eller under 50 Hz.

Reglerne for, hvor meget reserve Danmark skal have til rådighed til håndtering af ubalancer, aftales i det fælles europæiske netværk ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity). ENTSO-E vurderede de mulige konsekvenser af solformørkelsen den 20. marts 2015 i god tid forinden. Forud for solformørkelsen var der også en del skriverier i medierne om en mulig stor udfordring ("stresstest") af det europæiske elnet. I Centraleuropa, særligt i Tyskland, spiller solenergi en større rolle end i Danmark. Det fremgår af officielle tyske opgørelser, at der i Tyskland i februar 2015 var installeret ca. 36.000 MW – det svarer til ca. 80 kraftværker. En væsentlig del kunne potentielt set under solformørkelsen falde ud af systemet i løbet af en times tid. Det viste sig dog, at det europæiske elnet klarede sig udmærket gennem solformørkelsen.

Resultaterne viser en lavere vind over landområderne i 10 meters højde på typisk 1 m/s i simuleringen med solformørkelse, nogle steder op til 2 m/s lavere. En sammenligning af de to simuleringer for en position svarende til landbrugsstation Flakkebjerg på Sjælland viser, at vindens hastighed og retning er næsten identiske frem til kl. ca. 9. Herefter er der en periode med aftagende vind (under 1 m/s) og en vinddrejning på op til ca. 15 grader mod venstre i bevægelsesretningen (drejer fra nordvest mod vest). Efter solformørkelsen optræder der en periode med kraftigere vind, der drejer mod højre i simuleringen med indbygget solformørkelse. I aftentimerne bliver simuleringerne igen næsten ens.

De simulerede ændringer i kørslen med indbygget solformørkelse er i overensstemmelse med de teoretiske overvejelser omkring vinden samt målinger af den ændrede energiproduktion. Også ændringer i observeret vind fra 10 m højde ser ud til at understøtte resultatet af modelsimuleringerne.

Erfaringer fra andre solformørkelser

Det er naturligt at spørge, om der findes andre undersøgelser af ændringer i temperatur og vind under en solformørkelse. Svaret er ja. Amerikaneren H. Clayton skrev allerede i 1901 om ændringer i temperatur og vind, som han observerede under en solformørkelse i Amerika d. 28. maj 1900. Hans studie omtales i en videnskabelig artikel af Gray og Harrison fra 2012, der ligeledes beskriver et studie af temperatur- og vindændringer i England under den sidste totale solformørkelse, der ramte Europa i 1999. Gray og Harrison anvendte i deres studie et tæt net af vind- og temperaturobservationer d. 11. august 1999 fra et område omkring Reading i det sydlige England. Observationerne blev sammenlignet med en finmasket modelforudsigelse udført med vejrmodellen fra det engelske meteorologiske institut. Denne prognose havde ikke indbygget en simulering af solformørkelsen. Sammenligningen med målingerne fra stationsnettet førte kvalitativt og til dels kvantitativt til det samme resultat som DMI's aktuelle undersøgelse: De når frem til en karakteristisk afkøling på ca. 1 °C ved formørkelsen, et fald i vindens størrelse på ca. 0,7 m/s og en vinddrejning på ca. 17 ° i forbindelse med solformørkelsen.

Den næste store solformørkelse i Europa vil finde sted den 12. august 2026, og den vil være total i Spanien og partiel i resten af Europa. Til den tid forventes installeret væsentlig mere vedvarende energi fra sol og vind. Men det europæiske samarbejde inden for regulering af elnettet klarer formentlig udfordringen, bl.a. fordi meteorologiske modeller kan forudsige de midlertidige ændringer i energiproduktionen fra sol og vind. ■

Kilder og videre læsning

www.platts.com/latest-news/electric-power/london/german-power-price-for-eclipse-hour-up-63-spot-26043031

http://m.motherjones.com/environment/2015/03/solar-eclipse-germany-power

http://planetsave.com/2015/03/21/how-europes-energy-grid-handled-the-3-20-2015-solar-eclipse/

Holton, James R., 2004: An introduction to dynamic meteorology , Elsevier. www.hirlam.org

Eerola, K. 2013: Twenty-one years of verification from the HIRLAM NWP system. Wea. Forecasting 28, 270-285. DOI: http://dx.doi.org/10.1175/WAF-D-12-00068.1

SL Gray and RG Harrison (2012): Diagnosing eclipse-induced wind changes. Proc. R. Soc. A. doi: 10.1098/rspa.2012.0007.

ANNONCE

Gratis T-shirt

Kunne du tænke dig en Science Teacher T-shirt? Vi har en rest, som vi giver kvit og frit til gymnasielærere.

Vi har en rest af Science Teacher T-shirts. Send navn, størrelse og adresse på det gymnasie, hvor du underviser til mcm@tek.sdu.dk, så sender vi en gratis T-shirt til dig. Vi uddeler efter først-til-mølle-princippet.

Oplæg hos jer eller os
Læs mere om vores brobygningstilbud såsom workshops og faglige oplæg i fx design af interaktive produkter, brugerinvolvering, udvikling af computerspil, naturlige farvestoffer og kemi i ølbrygning på www.sdu.dk/tek/brobygning

INGENIØRUDDANNELSERNE PÅ SYDDANSKUNIVERSITET.DK

Effektelektronik

– en nøgleteknologi i energisystemet

I enhver sammenhæng, hvor elektrisk energi skal omsættes fra en form til en anden, er der brug for effektelektronik. Og det bliver en nøgleteknologi i en fremtid, hvor vi skal frigøre os fra fossile brændsler.

Af Frede Blaabjerg

Menneskehedens behov for energi vil stige meget de kommende årtier. Dels fordi jordens befolkning stiger kraftigt, og dels fordi mange mennesker heldigvis får en bedre levestandard. Menneskets umættelige behov for energi udgør på langt sigt en udfordring for det globale energisystem, som i dag stadig overvejende er baseret på fossile brændsler. Det er et problem, fordi de fossile brændsler er en begrænset ressource, og derudover belaster de klimaet og miljøet.

Der findes umiddelbart to teknologiske strategier til at angribe udfordringerne med. Man kan udvikle teknologi, der kræver mindre energi, og som derved giver energibesparelser, eller man kan omstille energiproduktionen, så den baseres på vedvarende energikilder. I begge tilfælde spiller den såkaldte effektelektronik en væsentlig rolle for fremtidens energiløsninger. Effektelektronik er elektronik, der effektivt og hurtigt kan omsætte elektrisk energi fra en form til en anden med det formål at kunne styre energi-flowet i eksempelvis et elektrisk apparat og styre en proces.

Princippet i effektelektronik

Effektelektronik er i stand til at omsætte den elektriske energi med små tab og dermed en meget høj virkningsgrad. Samtidig bliver stadig mere energi produceret, transporteret og forbrugt som elektrisk energi, da det er en effektiv måde at håndtere energien på. En elektrisk energiomsætning via effektelektronik kan fx være at omsætte en vekselspænding fra nettet til en jævnspænding, som oplader et batteri. Det foregår i stor stil i dag, fx til opladning af vore bærbare computere eller mobiltelefoner.

Her kan det også ses, at net-spændingen ensrettes til en jævnspænding, hvorefter spændingen til batteriet styres af transistorer (effektelektronik) ved at være tændt i et vist interval for dermed at styre spændingen til batteriet. Spændingen skal løbende tilpasses, når batteriet oplades, hvilket effektelektronikken sikrer ved en smart styring. Det vigtige er, at de effektelektroniske komponenter kan tænde og slukke uden større effekttab, og at de heller ikke har meget tab, når de er tændte og leder strøm. Dette er blot et eksempel af rigtig mange, hvor effektelektronikken gør forbruget styrbart.

Foto: Colourbox

Brug af effektelektronik

Effektelektronik bruges i alle sammenhænge, hvor der er brug for at ændre en elektrisk energi (fx ændre dens spænding, strøm, fase eller frekvens). Effektområderne, der skal konverteres, spænder fra nogle få milliwatt (som i en mobiltelefon) til hundrede af megawatt. I moderne systemer udføres omsætningen i halvlederkomponenter som dioder, tyristorer og transistorer.

En såkaldt ensretter (eller AC/DC-konverter), som omsætter vekselstrøm til jævnstrøm, er et eksempel på en effektelektronisk enhed. Det meste elektronik kører på jævnstrøm, og derfor findes der ensrettede indbygget i mange elektroniske apparater i hjemmet, fx i fjernsyn, PC'er og mobiloplader. Batterier er udelukkende jævnstrømskilder.

Et eksempel på en effektelektronisk enhed er strømforsyningen til en bærbar pc, som automatisk tilpasser sig spændingen i stikkontakten, hvad enten den er 230 V eller 110 V etc. Vekselstrømmen omformes alligevel til stabile 19 V jævnstrøm eller hvad spænding pc'en nu er bygget til. Selvom strømforsyningen ikke fylder meget, kan den samtidig oplade batteriet. Opladningen styres også vha. effektelektronik.

Opladning af batteri i bærbar pc

Styring af elmotorer

En anden meget udbredt brug af effektelektronik er til styring af elmotorer i alle størrelser. På figuren er vist et system, som omformer tre-faset-vekselstrøm fra elnettet til jævnstrøm og derefter til trefaset-vekselstøm igen, men med en spænding og frekvens, som kan styres. Dermed kan elmotorens kraft og omdrejninger kontrolles. Dvs. man får præcis den motorydelse, som er krævet, uden at elmotoren bruger mere strøm end nødvendigt.

Vindmøller på elnettet

De store møller rummer effekelektronik i stor skala. Det bruges til styring af belastningen af generatoren i møllen samt til at tilpasse den producerede strøm til elnettet. På figuren er vist et system, som omformer tre-faset-vekselstrøm fra generatoren til jævnstrøm og derefter til trefaset-vekselstøm igen, men med en spænding og frekvens, som passer til elnettet. De fleste møller er koblet direkte på højspædingsnettet via en alm. transformer til vekselstrøm.

Foto: Colourbox

En strømforsyning til en notebook. Udviklingen inden for effektelektronik gør det muligt at lave disse forsyninger både mindre og billigere.

Om forfatteren

Frede Blaabjerg,
professor
Institut for Energiteknik
Aalborg Universitet
fbl@et.aau.dk

Frede Blaabjerg modtog i 2014 Villum Kann Rasmussens Årslegat til teknisk og naturvidenskabelig forskning. Artiklen her er en redigeret version af en artikel bragt i Årsskrift for VILLUM FONDEN og VELUX FONDEN, 2014.

Et andet hovedområde for effektelektronikken er styring af elektromotorer. Elektromotorer – som man fx finder i kompressorer til et køleskab eller i ventilatorer – står for mere end halvdelen af det elektriske energiforbrug i den industrielle verden. I elektromotorer er effektelektronikken i stand til at styre motorens omløbstal, så det tilpasser sig belastningen i stedet for, at motoren blot kører på "fuld kraft" hele tiden. Via sådanne løsninger er der set eksempler på energibesparelser på mere end 50 % og gør derfor en stor forskel i bestræbelserne på at gøre vores energisystem langt mere effektivt i fremtiden.

Effektelektronik og vedvarende energiproduktion

Som nævnt spiller effektelektronik også en stor rolle i den vedvarende energiproduktion. De seneste 20 år er der både i Danmark og på globalt plan blevet installeret en stor mængde vedvarende energi i el-nettet i form af vindmøller og solceller. I begge tilfælde sikrer effektelektronikken, at energien, der kommer fra solen og vinden, bliver optimeret og sikkert sendt ind i el-nettet med en høj grad af styrbarhed. Solceller producerer en jævnspænding, som skal omsættes til en vekselspænding for at kunne tilsluttes el-nettet. Og i vindmøller skal generatoren i vindmøllen hastighedsstyres, så den maksimalt mulige energi trækkes ud af møllens rotor, samtidig med at energien via vekselspænding sendes ind i nettet. Her laver vi altså først en omformning fra vekselstrøm til jævnstrøm (ac/dc) og dernæst en omformning fra jævnstrøm til vekselstrøm for at tilslutte en vindmølle til el-nettet. I vindmøllerne er effektelektronikken et stort elektrisk apparat, der har en virkningsgrad på mere end 98 %.

Nye komponenter styrer den forstsatte udvikling

Selv om den effektelektroniske energiomsætning er effektiv – som nævnt nogle gange højere end 98 % – forsker vi fortsat i at gøre den endnu mere effektiv. Hvis man fx ser på den samlede danske kapacitet inden for vedvarende energi på ca. 5 GW, vil 2 % stadig være en stor mængde energi, der går tabt. Og for en enkelt vindmølle på 1 MW vil det betyde, at der går 20 kW tabt i form af varme, der skal transporteres væk fra vindmøllen i form af køling.

Den vigtigste "driver" i udviklingen er naturligvis prisen for komponenterne, men også alt det, der skal til for at fremstille det endelige elektriske apparat. Det er kølesystemer, printplader, elektriske komponenter herunder spole og kapacitor, styringsenhed og naturligvis også en indkapsling. Jo højere virkningsgrad, der kan opnås, jo mindre køling er der behov for. Dermed bliver der et mindre volumen og mindre brug af materialer, og i sidste ende er det også en vigtig faktor på prisen. De effektelektroniske komponenter bliver stadig bedre (så de kan tænde og slukke hurtigere og tabe mindre spænding, når de er tændte), hvilket alt sammen peger i den rigtige retning for at gøre apparatet endnu billigere.

Den primære udvikling har været at lave transistorer og dioder baseret på silicium, men i de seneste år er det blevet muligt at basere disse komponenter på silicium-carbid eller gallium-nitrid. Det har gjort det muligt at tænde og slukke komponenterne mindst en faktor ti hurtigere og derved langt bedre at kunne mindske tabene. Det har medført lidt af et paradigmeskift indenfor apparatdesign, idet vi nu ser tænde- og slukke-tider af transistorer på under 10 nanosekunder. Det stiller helt nye krav til, hvordan apparaterne skal designes, og hvordan komponenterne pakkes effektivt.

En anden fordel ved denne nye teknologi er, at den kan arbejde ved højere driftstemperaturer. Men om den også kan gøres lige så pålidelig og holde i lige så lang tid som traditionel silciumbaseret effektelektronik er endnu åbne spørgsmål, som vi i min forskningsgruppe bl.a. arbejder med. Her arbejder vi med at kunne beregne, hvor mange fejl vi over en tyveårig periode kan forvente i eksempelvis et apparat til solceller. Og hvis beregningerne viser, at man kan forvente uacceptabelt

Jævnstrøm og vekselstrøm

Jævnstrøm (DC – engelsk for *Direct Current*) er elektrisk strøm, der altid løber i samme retning, dvs. fra plus til minus. I modsætning hertil vendes retningen i vekselstrøm hyppigt – i det danske elsystem sker det 50 gange i sekundet (dvs. det har en frekvens på 50 Hz). Der kan både løbe jævnstrøm og vekselstrøm på samme tid i den samme leder.

LÆS MERE
NANO.AAU.DK/SRP

HJÆLP TIL DIT STUDIERETNINGS-PROJEKT?

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

DU KAN FÅ HJÆLP TIL EMNER SOM:

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

KEMI/BIOTEKNOLOGI
METALLISKE NANOPARTIKLER
MICELLER
PEPTIDSYNTESE
ENZYMKINETIK

AALBORG UNIVERSITET

Foto: AAU.

Eksempel på effektelektronik. Typisk vil det kunne kendes på nogle store tilslutningsterminaler i metal, hvis det er lavet til større strømstyrker. Men som meget andet elektronik, er det modulopbygget.

mange fejl i det anvendte design, kan vi komme med forslag til, hvorledes fejlraten kan reduceres via et nyt design.

Det rykker på mange fronter

Som vi har set, anvender man effektelektronik til både at producere elektricitet og til at forbruge elektricitet på en effektiv måde. I fremtidens energisystem vil såvel produktion som forbrug variere meget, og udfordringen i sådant system er at opnå en balance imellem produktion og forbrug. En af måderne at gøre det på er at supplere elsystemet med energilagre, hvor den mest nærliggende mulighed er batterier. El-biler kan dermed naturligt tænkes at indgå som en del af et sådant batteribaseret energilager, og i større skala kan man tænke sig energilagring baseret på vandkraftanlæg, hvor vand pumpes op, eller man kan via elektrolyse omdanne overskuds-elektricitet til brint, som kan lagres. For at kunne styre et elsystem med energilagre kræves også effektelektronik.

Man kan også forestille sig, at vi vil gå fra et elsystem med vekselspænding til et elsystem med jævnspænding, således at der måske om 20 år er jævnspænding i stikkontakterne i vores huse. Dermed vil der være brug for færre energiomsættende omformere, og energisystemet vil samlet kunne opnå en højere virkningsgrad.

Endelig er der ingen tvivl om, at den dag el-bilen virkelig slår igennem, vil effektelektronikken få et endnu større boost. For i elbiler er effektelektronik ikke kun involveret i fremdrift af bilen, men også til at styre batteri-lageret og ikke mindst til at lade batterierne op, hvilket i fremtiden helst skal foregå ved trådløs effekt-overføring. Effektelektronik anvendes allerede meget i hybrid-bilerne, da det er afgørende for at kunne dele energien fra henholdsvis el-motor og forbrændingsmotor under drift. En fuld batteribaseret el-bil som den amerikanske Tesla, kræver endnu mere effektelektronik, og derfor er der store muligheder for effektelektronik-industrien i fremtiden. Allerede nu kender vi de væsentligste teknologier. Så det er primært prisen, der skal ned, samtidig med at man ikke giver køb på pålideligheden.

Det ultimative mål

I idealernes verden vil den ultimative effektelektronik have en effektivitet på 100 %. Skulle den dag komme, hvor det lykkes os at opnå det, vil vi forskere indenfor effektelektronik sat lidt på spidsen have gjort os selv overflødige. Men selvom vi for øjeblikket ser ret bemærkelsesværdige resultater i forbindelse med anvendelsen af de helt nye komponenter, hvor størrelsen på nogle apparater kan reduceres med op til 75 %, er der stadig meget lang vej til det ultimative mål. Oftest opstår der nye problemer, når tingene bliver gjort mindre og giver nogle uforudsete tab, der skal håndteres. Derfor vil der uden tvivl være behov for masser af forskning i effektelektronik de næste årtier. ■

VÆLG DEN RIGTIGE UDDANNELSE

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

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

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

Læs på SCIENCE

scienceku

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

21 NATURVIDENSKABELIGE BACHELORUDDANNELSER:

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

KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET

Kemi mellem stjernerne

Stjernetåger kan populært sagt opfattes som en tynd "suppe" af molekyler. En udskældt type molekyle her på Jorden bærer måske en del af svaret på, hvordan den kemiske mangfoldighed opstår i disse områder af rummet.

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

← Orion stjernetågen er et af de mest undersøgte og fotograferede objekter på nattehimlen. Det er en diffus tåge af gas og støv beliggende i stjernebilledet Orion, og den lyser så klart på nattehimlen, at den er synlig med det blotte øje. En stjernetåge er populært sagt en stjernevugge, for her fødes helt nye stjerner. Oriontågen er samtidig den nærmeste kendte region i Mælkevejen, hvor der foregår stjernedannelse i massivt omfang. Dog er den med en afstand af godt 1300 lysår fra Jorden ikke just en tæt nabo.

Foto: NASA,ESA, M. Robberto (Space Telescope Science Institute/ESA) and the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team

En region i tågen kaldes Orion Bar, og denne repræsenterer den dramatiske overgang mellem den unge, varme del af tågen med helt nye stjerner og den kolde molekylære sky, ud fra hvilken de oprindeligt blev dannet. →

Foto: NASA, C.R. O'Dell and S.K. Wong (Rice University)

Hvori består ligheden mellem stjernetågen Orion Bar i Mælkevejen og udstødningsgassen fra en bil? Svaret er, at begge medier er fyldt med polycykliske aromatiske hydrocarboner – eller PAH'er, som de sædvanligvis blot kaldes. Her på Jorden forbinder vi sædvanligvis disse PAH'er med noget negativt, da de er kræftfremkaldende. Som navnet antyder, består de af kulstof (carbon) og hydrogen, hvor kulstofatomerne er arrangeret i ringformede strukturer. De dannes bl.a. som et produkt af ufuldstændig forbrænding, og derfor findes de fx i udstødningsgasserne fra benzin- og dieselbiler og bidrager dermed til luftforureningen.

I det interstellare rum, altså rummet mellem stjernerne, spiller PAH'er måske en helt anden og meget mere positiv rolle som katalysatorer for kemiske reaktioner. De kan således være en vigtig brik i at forklare, hvordan de mere end 150 forskellige molekyler, som astronomerne hidtil har detekteret i det interstellare rum, er blevet dannet. Umiddelbart er det svært at forstå, hvordan der kan opstå en sådan grad af kemisk kompleksitet under de ekstremt lave temperaturer og tryk, der hersker i rummet. Men ved at koble observationerne med eksperimenter her på jorden, kan vi nærme os en forståelse af, hvad der foregår.

Netop det er Liv Hornekær i fuld gang med på Aarhus Universitet. I en årrække har hun sammen med sine kolleger forsket i, hvordan molekylært hydrogen (H_2) kan dannes på overfladen af interstellare støvkorn i rummet. De seneste år har hun fokuseret specielt på PAH'er som mulige katalysatorer for denne proces. Og nu skal hun i gang med en ny serie eksperimenter, som også skal inddrage effekten af UV-stråling. Nye forskningsresultater tyder nemlig på, at UV-stråling kan have en afgørende finger med i spillet.

Kemi i rummet

Drivkraften for Livs forskning er som nævnt ønsket om at forstå, hvordan kemisk kompleksitet kan opstå i det interstellare rum. Og det er et emne, der optager mange forskere inden for et bredt spekter af fagområder. De fleste molekyler, man har detekteret i det interstellare rum, er simple. Det gælder fx molekylært hydrogen (H_2) og vand (H_2O). Andre er mere komplekse, fx kulstofmolekyler som "buckyballs" (C_{60}), hvor 60 kulstofatomer sidder i en kugleformet struktur, eller molekyler som formaldehyd (HCHO) og glykolaldehyd ($C_2H_4O_2$), som er et simplet sukkermolekyle. De to sidstnævnte er interessante, fordi de er, hvad man kalder *præbiotiske* molekyler – dvs. grundlæggende byggestene nødvendige for at kunne opbygge levende organismer i den form, man finder det på Jorden.

Molekylært hydrogen er det mest almindelige molekyle i universet, og det spiller en nøglerolle i de kemiske netværk, som leder til mere komplekse molekyler. Derfor er et vigtigt skridt i forståelsen af de kemiske processer i rummet at kunne forklare, hvordan hydrogenmolekyler bliver dannet. Man

Observation af PAH-molekyler i det interstellare rum

Vores viden om kemisk kompleksitet i det interstellare rum, kommer fra studier af elektromagnetisk stråling (lys, mikrobølger og radiobølger) der kommer derfra. Hvis man ser på intensiteten af strålingen som funktion af bølgelængden eller frekvensen (strålingens spektrum), kan man se at der ved nogle bølgelængder er for meget lys og ved andre for lidt. Fra laboratoriestudier på jorden ved vi, at alle atomer og molekyler udsender og absorberer lys ved bestemte bølgelængder. Hvis vi sammenligner de spektre, der er målt i laboratorierne med dem, der er observeret fra det interstellare rum, kan vi se, om der er sammenfald mellem spektrene fra specifikke atomer og molekyler og de bølgelængder i de interstellare spektre, hvor der er for meget eller for lidt stråling.

Et eksempel på en sådan sammenligning er vist i figurerne. Her sammenligner man teoretisk beregnede spektre fra forskellige PAH-molekyler (øverst) med et spekter, der viser den typiske intensitetsfordeling i det interstellare rum (nederst). Man kan se, at der er god overensstemmelse mellem de bølgelængder, hvor PAH'erne udsender stråling (fx ved 3,3 μm, mellem 6-8 μm og omkring 12 μm) og de bølgelængder, hvor der er forøget stråling i det interstellare rum. Det indikerer, at det kunne være varme PAH-molekyler i det interstellare rum, der udsender den observerede stråling. Havde molekylerne været kolde, ville vi i stedet have set absorption af stråling (resulterende i lavere intensitet) ved de samme bølgelængder.

Man kan også se, at de teoretiske spektre for de forskellige PAH-molekyler har store ligheder. Det gør det svært at identificere præcist, hvilke PAH-molekyler der findes i det interstellare rum.

ved, at i de stjernetåger, hvor nye stjerner fødes, findes næsten alt hydrogen på molekylær form. Men ved de lave tætheder af stof, der hersker i det interstellare rum, findes der ikke nogen effektiv måde at danne molekylært hydrogen ud fra to hydrogenatomer. Hvis to hydrogenatomer tilfældigvis "bumper" sammen i rummet og danner molekylært hydrogen, vil der ved reaktionen frigives så megen energi, at molekylet straks rives fra hinanden igen. Samtidig vil kosmisk stråling og UV-stråling konstant bombardere de hydrogenmolekyler, der måtte være blevet dannet, og splitte dem ad. Med andre ord må der eksistere en højst effektiv mekanisme, der er i stand til at producere molekylært hydrogen i en takt, så det kan holde trit med de destruktive processer.

I dag er de fleste forskere enige om, at denne mekanisme involverer reaktion mellem to hydrogenatomer på overfladen af interstellare støvkorn. Man mener også, at disse støvkorn fungerer som katalysator for dannelsen af mere komplekse molekyler som vand og methanol.

Et godt spørgsmål er, hvad disse interstellare støvkorn selv består af. Og det er her, at vores PAH'er træder ind på scenen.

Kunsten at opdage en PAH

Interstellart støv findes formentlig på mange former. En stor del af det menes at være kulstofholdigt som amorft kulstof, partikler af grafit med en "løgagtig" struktur – og så netop PAH'er. Det er dog ikke let at afgøre med 100 % sikkerhed, hvad støvet består af. Eksistensen af PAH'er i det interstellare rum har således været heftigt debatteret blandt forskere de seneste 20 år. Efterhånden er selv de mest hårdnakkede skeptikere dog blevet overbevist om, at PAH'er findes i rummet, og at de bærer så meget som 5-10 % af det kulstof, der findes i det interstellare rum. Grunden til debatten er, at man ikke entydigt har kunnet identificere en enkelt unik type af PAH via observationer. Betegnelsen PAH dækker over en hel zoologisk have af molekyler, som dog har fællestræk i den måde atomerne er arrangeret i såkaldte aromatiske ringe. Det er derfor PAH som en generel struktur, man er enige om eksistensen af.

Liv Hornekær er lektor i eksperimentel overfladefysik ved Institut for Fysik og Astronomi og Interdisciplinært Nanoscience Center – iNANO, Aarhus Universitet. Hun har en ph.d.-grad i fysik og har de seneste 15 år studeret, hvordan kemiske reaktioner på overflader kan bidrage til interstellar kemisk kompleksitet. Viden fra de studier har gjort det muligt for hendes forskningsgruppe at udvikle nye metoder til at kontrollere de elektriske egenskaber i materialet grafen (2D- versionen af grafit) samt igangsat studier af potentelle nye metoder til at beskytte metaloverflader mod rust. liv@phys.au.dk

Foto: Jesper Rais

Kemiske stoffer i rummet afsløres ved at studere strålingen fra rummet i særlige bølgelængdeområder. Man mener nu, at bestemte bånd i det infrarøde område er signaturer for egenskaber ved de aromatiske ringe i PAH'er. Man mistænker også PAH'er for at være årsagen til andre "mærkværdigheder" i spektrene fra det interstellare rum, som forskerne hidtil har undret sig over. Fx har en gruppe internationale forskere i et nyligt studie publiceret i *Nature Communications* argumenteret for, at de såkaldte diffuse interstellare bånd (en større gruppe af mere end 400 absorptionsbånd i de interstellare spektre) stammer fra PAH'er.
En af komplikationerne ved PAH'er er, at deres spektre afhænger af deres størrelse, om de findes som neutrale molekyler eller ioner, og om der er andre kemiske stoffer fasthæftet til dem.

Fra observationer til eksperimenter

I nogle særlige "miljøer" i det interstellare rum med meget kraftig UV stråling kan man se, at der dannes molekylært hydrogen i stort omfang, og at der i de samme miljøer også er store mængder PAH'er til stede. Det antyder, at PAH'er kan spille en aktiv rolle i de interstellare kemiske processer.

Liv har med sin forskningsgruppe som de første eksperimentelt kunnet vise, at PAH-molekyler faktisk kan katalysere dannelsen af molekylært hydrogen. Eksperimenterne foregik ved at bombardere neutrale molekyler af PAH'en coronen med en stråle af hydrogenatomer. Herved bliver coronen "superhydrogeneret", hvilket vil sige, at der optages ekstra hydrogenatomer på kulstofatomerne i coronen-molekylet. Den ultimative grad af superhydrogenering er således, hvis samtlige kulstofatomer har optaget et ekstra hydrogenatom. Med eksperimenterne kunne Liv og kolleger vise, at man faktisk kunne nærme sig denne teoretiske grænse i praksis, hvilket man hidtil ikke havde troet muligt. Endvidere kunne de ved at bombardere coronen med deuterium (en lidt tungere isotop af hydrogen) vise, hvordan hydrogenatomer blev udskiftet med deuteriumatomer i processen. Den eneste sandsynlige reaktion, der rent energimæssigt kan forklare observationerne, er, at der i processen dannes hydrogenmolekyler.

Eksperimentelle teknikker

De to vigtigste eksperimentelle metoder til at studere PAH-molekylernes katalytiske aktivitet er masse-spektrometri og skanning-tunnel-mikroskopi (STM). Begge typer målinger foregår i vacuum-kamre under ekstremt lavt tryk (10^{-10} mbar) for at efterligne betingelserne i det interstellare rum.

Masse-spektrometri-målingerne bruges til at bestemme hvor mange ekstra hydrogen- eller deuteriumatomer, der har bundet sig til coronenmolekyler. Det foregår ved, at PAH-molekylerne sendes ind på en grafitoverflade og derefter bombarderes med hydrogen eller deuterium. Herefter opvarmes grafitoverfladen, og når PAH-molekylerne så fordamper, opfanges de i et massespektrometer, hvor deres masse, og dermed også graden af superhydrogenering, bestemmes.

Skanning-tunnel-mikroskopi bruges til at bestemme, hvor de ekstra hydrogenatomer sidder på PAH-molekylerne. Et eksempel på STM-billeder af PAH-molekylet coronen på en kobberoverflade med og uden superhydrogenering er vist på billederne.

Coronen-molekylerne fremstår som lysende runde former. Når coronenmolekylerne hydrogeneres kan hydrogenatomernes position bestemmes ved at se på den substruktur (de nye lyse strukturer), der pludselig bliver synlig i molekylerne. Når de hydrogenerede molekyler efterfølgende bestråles med UV stråling, er håbet, at man direkte i STM'et vil kunne se deres substruktur ændre sig, efterhånden som de ekstra hydrogenatomer rystes af.

PAH-molekylet coronen som en generel model

Stregformel for PAH'en coronen

Hydrogen

Kulstof

I liv Hornekærs eksperimenter bruges PAH-molekylet coronen som en generel model for PAH'er. Figuren øverst viser strukturen af dette molekyle på to forskellige måder – dels som en stregformel og dels mere grafisk. Som det fremgår, sidder hydrogenatomerne rundt i kanten på molekylet. Det vigtige at bemærke er, at alle kulstofatomer har en dobbeltbinding. Hvis en dobbeltbinding brydes, er der mulighed for, at et ekstra hydrogenatom kan binde sig til molekylet. Når coronen har ekstra hydrogenatomer i forhold til grundtilstanden siger man, at det er *superhydrogeneret*. I det ekstreme tilfælde vil samtlige dobbeltbindinger være brudt, og alle kulstofatomer derfor have et ekstra hydrogenatom.

Liv Hornekærs eksperimenter har vist, at det reelt er muligt at opnå en sådan grad af *superhydrogenering*.

Figurerne til højre viser i skematisk form, hvordan dannelsen af hydrogenmolekyler tænkes at foregå. Ud fra eksperimenter med at bombardere coronen med deuterium (en tung isotop af hydrogen) har Livs forskningsgruppe vist, hvordan hydrogenatomer udskiftes på coronen-molekylet. Den eneste energimæssigt sandsynlige forklaring på observationerne er, at der samtidig dannes hydrogenmolekyler.

En dobbeltbinding brydes, og deuteriumatomet bindes til et kulstofatom på PAH-molekylet

Det nye deuterium-atom reagerer med et hydrogenatom på PAH-molekylet og danner et hydrogenmolekyle

Slutresultatet er, at et hydrogenatom på PAH-molekylet er blevet erstattet af et hydrogenatom, og samtidig er der dannet et hydrogenmolekyle

Fotokatalyse

Der, hvor forskningen er i dag, ved man altså, at PAH-molekyler kan blive superhydrogenerede, når de bombarderes med hydrogenatomer. Og jo mere superhydrogenerede molekylerne er – dvs. jo flere hydrogenatomer, der er koblet til dem – jo hurtigere vil dannelsen af molekylært hydrogen kunne foregå.

Som allerede nævnt vil kosmisk stråling og UV-stråling imidlertid konkurrere med de processer, der fører til superhydrogenering af PAH-molekyler ved hele tiden at ryste de overskydende hydrogenatomer af igen. Men i denne konkurrence ligger måske også nøglen til at forstå dannelsen af molekylært hydrogen. Nogle forskningsresultater tyder nemlig på, at hydrogen, der rystes af PAH-molekylet af UV-strålingen, er på molekylær form og ikke atomart hydrogen. Dermed kan UV-strålingen spille en aktiv rolle i dannelsen af molekylært hydrogen, og der vil så være tale om en såkaldt fotokatalytisk proces.

At undersøge netop dette samspil mellem UV-stråling og PAH-molekylers evne til at katalysere dannelsen af molekylært hydrogen er kernen i Livs forskningsprojekt, som er finansieret via en bevilling fra Forskningsrådet for Natur og Univers under Det Frie Forskningsråd. Ved hjælp af et særligt tilpasset STM-mikroskop (Scanning Tunnel Mikroskop) kan hun undersøge overfladen på PAH-molekyler med en præcision på molekyleskala, samtidig med at de udsættes for UV-lys. På den måde kan hun præcist bestemme de steder på overfladen af PAH-molekylerne, hvor hydrogenmolekylerne rystes løs af UV-strålingen. Ved samtidig at måle på de molekyler, der kommer ud af reaktionerne og kombinere målingerne med teoretiske overvejelser, vil hun kunne kortlægge reaktionsvejene.

I første omgang handler eksperimenterne primært om, hvordan PAH-molekyler kan katalysere (og måske fotokatalysere) dannelsen af molekylært hydrogen. Det næste skridt i projektet bliver at udvide eksperimenterne til reaktioner mellem PAH-molekyler og oxygen. Målet er her at undersøge den mulige fotokatalytiske aktivitet af PAH'er i dannelsen af molekylært oxygen (O_2), hydroxyl (OH), hydrogenperoxid (H_2O_2), vand og forskellige kulstofholdige molekyler.

Mod stadig større kompleksitet

Hvis PAH'er virkelig spiller en stor rolle i de kemiske processer i rummet, er et naturligt spørgsmål, hvor disse PAH'er selv kommer fra. Det kan forskerne endnu ikke give noget endegyldigt svar på, og der er flere teorier i omløb. De kan fx tænkes at blive dannet ved forbrændingsprocesser, når stjernerne afstøder materiale fra deres overflade i de sene faser af deres "livscyklus".

Alle eksperimenterne foretages ved meget lavt tryk (10^{-10} mbar) i et såkaldt ultra-høj vakuum kammer.

Men hvorfor udfolde disse store anstrengelser på at forstå, hvordan specifikke molekyler dannes i rummet milliarder og atter milliarder af kilometer fra Jorden? Grundlæggende handler det om at besvare nogle meget fundamentale spørgsmål om vores univers. De processer, der her bliver undersøgt, foregår i de regioner i rummet, hvor nye stjerner og planeter bliver født. Resultaterne er dermed med til at kaste lys over, hvilke kemiske komponenter der så at sige er til rådighed ved opbygningen af en ny planet.

Og så føjer det små brikker til den store fortælling, der i sidste ende handler om os selv: Spørgsmålet om, hvordan livet er opstået på jorden. Er livets byggesten primært blevet til her på jorden? Eller var mange af de nødvendige byggesten allerede støbt i rummet forud for dannelsen af planeterne i vores solsystem? Hvis det sidste er tilfældet, øger det sandsynligheden for, at liv kan være et generelt fænomen i universet. ■

Videre læsning:
Liv Hornekær og Arnd Baurichter: Støvkorn påvirker stjernefødsler. Aktuel Naturvidenskab nr. 3-2005

DET FRIE FORSKNINGSRÅD
DANISH COUNCIL FOR INDEPENDENT RESEARCH

Artiklen bringes i samarbejde med Det Frie Forskningsråd. Liv Hornekærs projekt er finansieret af en bevilling fra Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers (DFF-Forskningsprojekt 1). DFF-Forskningsprojekter har til formål at støtte banebrydende forskning af høj international kvalitet og fremme forskningssamarbejde nationalt og internationalt.

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

Månen og tidevandet
- ingen påviselig effekt på havniveauet af global opvarmning

Måneartikel uden overbevisende databehandling

Udviklingen i havniveauet de seneste 160 år kan forklares ved en sum af harmoniske svingninger styret af Månen, postulerer Jens Morten Hansen i sidste nummer. Men den statistiske analyse understøtter ikke konklusionerne, lyder kritikken i denne kommentar til artiklen.

Forfatterne

Aslak Grinsted
ag@glaciology.net

Jørgen Peder Steffensen
jps@gfy.ku.dk

Bo M. Vinther
bo@gfy.ku.dk

Alle lektorer ved Center for Is og Klima,
Niels Bohr Institutet
Københavns Universitet

I Aktuel Naturvidenskab nr. 3 - 2015 har Jens Morten Hansen en artikel: *Månen og tidevandet – ingen påviselig effekt på havniveauet af global opvarmning*.

I artiklen gennemgår Jens Morten Hansen hovedresultaterne fra to videnskabelige artikler og fremfører en frustration over, at det internationale klimapanel IPCC ikke tager den lange observationsserie fra farvandene omkring Danmark i betragtning i vurderingen af nyere målinger af havvandsstigninger. Hans pointe er, at havvandsstigningen kan forklares ved naturlige variationer, og at der indtil videre ikke er nogen nævneværdig menneskeskabt effekt.

Fraværet af menneskabt effekt på havniveauet nær Danmark ville sagtens kunne forklares, selv i en verden med omfattende havniveaustigninger. Satellitobservationerne viser nemlig, at global havvandsstigning er ulige fordelt, bl.a. på grund af ulige termisk ekspansion og ændrede saltforhold, hvilket fx fremgår af en artikel af C.R. Cazenave i *Geoscience* fra 2008. Det er imidlertid ikke vort ærinde med dette indlæg at diskutere fravær eller tilstedeværelse af menneskeskabte havvandsændringer. Den diskussion foregår til fulde mange andre steder. Vi vil til gengæld anholde Jens Morten Hansens matematiske behandling af observationsdata. Viser data overhovedet det, han påstår?

For mange frihedsgrader

Jens Morten Hansen bruger havniveauobservationer nær Danmark fra 1849 til 2009 til at opstille en såkaldt tidsserie af 160 årsmidler, og han argumenterer for, at variationen i havniveau kan forklares ved en harmonisk sum med grundfrekvenser baseret på månens nodale periode tilsat bidrag fra den Nordatlantiske Oscillation (NAO) og den Atlantiske Multidekale Oscillation (AMO) samt en lineær trend. Som vi læser artiklen, har han opløst tidsserien i en sum af de antagede grundfrekvenser, dernæst har han udført et "tjek" ved at addere de fundne bidrag og sammenholde den fundne sum med data. Da den adderede kurve korrelerer med data med en "høj" korrelationskoefficient, 0,997, konkluderer Jens Morten Hansen, at han entydigt har eftervist, at data understøtter netop denne ene opløsning i grundfrekvenser, og derfor er antagelsen om tilstedeværelsen af grundfrekvenserne i dataserien "sand".

Problemet er imidlertid, at matematisk set kan enhver stykkevis kontinuert funktion (som dataserien i dette tilfælde) altid opskrives som en harmonisk sum (Teorien om Fourierrækker). Det er derfor ingen kunst at approksimere en målt dataserie med harmoniske serier, og det er slet ikke svært at finde andre kombinationer af harmoniske serier, som giver en mindst lige så god approksimation til

data. I Jens Morten Hansens databehandling er der nemlig alt for mange frihedsgrader i den harmoniske model i forhold til mængden af information i havniveaudataserien, som der fittes til. Jens Morten Hansens harmoniske måne-model har 17 parametre (5 perioder, 5 faser, 5 amplituder, en hældning og en konstant). Dataserien indeholder 160 punkter, men i sammenligningen til data bruger han 19 års midler. Det vil sige, at der effektivt kun er 8-9 datapunkter, som sammenlignes, og dataserien er derfor slet ikke entydigt opløst i netop de antagede grundfrekvenser.

Alt muligt kan bringes til at passe med månemodellen

For at illustrere dette, kan man lave følgende eksperiment: Antag, at man i et koordinatsystem skal forbinde punkterne (0,0) og (2,3) med fem tændstikker med længden 1 i forlængelse af hinanden. Hvis vi kun må lægge tændstikkerne langs x-aksen og langs y-aksen, er det kun ved at bruge to tændstikker langs x-aksen og tre langs y-aksen, at vi kan forbinde punkterne. Rækkefølgen er ligegyldig. Men hvis vi må lægge tændstikkerne i alle mulige retninger, er der uendeligt mange muligheder at forbinde punkterne på. I dette sidste system er der simpelthen for mange frihedsgrader, og der er ikke en entydig tændstikkombination, som forbinder punkterne.

Tilsvarende har måne-modellen for mange frihedsgrader i forhold til de anvendte 19 års midler. Derfor kan vi faktisk både bruge Jens Morten Hansens måneperioder til at beskrive en vilkårlig 160 år lang dataserie bestående af 19 års midler, og opløse hans dataserie i en række vilkårlige grundfrekvenser og opnå et ligeså godt "tjek" med en høj korrelationskoefficient.

Denne vigtige pointe kan vi tydeliggøre ved at anvende måne-modellen på datasæt, som ikke kan påstås at være afhængige af månens nodale

faser: Vi vælger i flæng befolkningstallet i Danmark over tid samt forekomsten af ordene "Frankenstein" og "Hamlet" i bøger som funktion af udgivelsesår. Man kan ligeledes tilnærme havniveaudata med en harmonisk sum med omløbsperioder af fem tilfældige exoplaneter. Disse kan selvfølgelig ikke påvirke jordens havniveau, da den tætteste af disse ligger 81 lysår herfra. Ligeledes kan vi ved at postulere "grundfrekvenser" af fx fornavnes hyppighed opnå en sum, som approksimerer havniveaudata med en korrelation på 0,997.

Det er derfor ikke svært for os at forstå, hvorfor det har været tungt at få studiet publiceret. Vi tror ikke, at det er et udtryk for videnskabelig censur, men derimod et udtryk for, at studiet ikke er overbevisende. Den statistiske analyse understøtter ikke konklusionerne, og selve kernen i studiet forbliver et postulat. ■

Svar fra Jens Morten Hansen:

Iden slags regneeksempler, som Grinsted m.fl. muntrer sig med, kan man ikke påvise nogen sammenhæng mellem observationer og en plausibel teori. I naturvidenskaben er det afgørende for en teoris troværdighed, om der er overensstemmelse mellem empiri og teori. Det er der i vores resultater, hvor vi har påvist akkurate sammenhænge mellem vandstandsmålingerne og bølgeteorien og samtidig kan angive fysisk plausible årsagsforklaringer.

Grinsted m. fl. har tydeligvis ikke forstået vores udførlige metodebeskrivelse. Beregningerne er – bortset fra fastlåsning af den velkendte periodelængde for Månens nodaloscillation (LNO – dvs. Månens nord-syd bevægelse over 35 breddegrader og 18,6 år) – fuldstændig frie. De fundne parameterværdier for alle de 5 fundne harmoniske oscillationer svarer imidlertid nøje til svingninger, der kendes fra en række andre oceanografiske og meteorologiske undersøgelser. Det er et tilfælde. Men et "lykkeligt" tilfælde, der bl.a. peger på, at periodelængderne for den Atlantiske Multi-

Jens Morten Hansen,
statsgeolog
GEUS
jmh@geus.dk

dekadale Oscillation (AMO, 74 år) og den Nordatlantiske Oscillation (NAO, 56 år) har en årsagssammenhæng med variationer i Månens tyngdefelt som følge af nodaloscillationen. De 5 oscillationers parameterværdier (periodelængder, kulminationstidspunkter og amplituder) repræsenterer således de frie beregningsresultater, der giver den mindste forskel (laveste residual) i forhold til den målte kurve.

Vigtigt er også, at man ikke kan fjerne eller tilføje svingninger, uden at forskellen mellem målingerne og beregningerne (residualet) bliver meget større. Konklusion: De fem svingninger beskriver et naturligt, sammenhængende system af oscillatorer.

Det er også en misforståelse, at antallet af "linjestykker" på kurven kun er 1/19 af de 160 år fra 1849 til 2009. Der er ikke som hævdet tale om 8-9 adskilte sekvenser af 19 års varighed (stive "tændstikker"), men om kontinuerligt glidende middelværdier for hvert af de 160 år. Også korrelationskoefficienterne og signifikansniveauerne for enkeltårsværdierne er meget høje og fremgår af de publicerede tabeller.

Beregninger med "håndkraft"

Vores metode går ud på at foretage et stort antal gentagne tilnærmelser (iterationer) for at finde parameterværdierne for først den største, så den næststørste, så den tredjestørste osv. af de mulige harmoniske svingninger. Beregningerne foretages ikke på én gang, således som de mange regnemodeller på markedet gør, men forfra og forfra og forfra igen hver gang en parameterværdi bestemmes med stadig bedre præcision. Bl.a. på grund af utilstrækkeligheden af markedets (ofte uigennemskuelige) regnemodeller har man indtil nu ikke formået at identificere havniveaukurvens enkelte bestanddele og dermed finde fysisk plausible forklaringer på de observerede udsving. Det har vi så gjort med "håndkraft" og gennemsigtige metoder for de 160 år, hvor havniveauet har været målt på 26 stationer i vores nærområde (verden længst og tættest dokumenterede region).

Derefter er opgaven at undersøge, om hver enkelt af de identificerede periodiske svingninger kan have en fysisk plausibel forklaring. Og det har de. For det første giver svingningen med den største amplitude et klart sammenfald med perioden for LNO (18,6 år). Det er ikke bemærkelsesværdigt, for det er iterationernes eneste præmis, at vi kender periodelængden for Månens nord-syd bevægelse. Men derudover fastlægges haveffekterne (kulminationstidspunkterne og amplituderne) præcist. For det andet har den næststørste svingning et klart sammenfald med periodelængden for AMO (74 år), der også har velbeskrevne effekter på bl.a. havstrømme og polarhavets isdækning. For det tredje falder den tredjestørste svingning sammen med periodelængden for NAO (lufttrykket mellem Island og Azorerne, der anvendes til vejrforudsigelser i utallige sammenhænge, 56 år). Derudover identificerer vores metode to væsentligt mindre svingninger med periodelængder på hhv. 29 og 112 år, der også kendes fra andre fysiske sammenhænge.

Skal passe med bølgeteori

Ud over fysisk plausible forklaringer skal de fundne parameterværdier også passe med klassisk bølgeteori. For det første har man vidst siden Huygens' forsøg i 1700-tallet med synkronisering af penduler, at svingninger i det samme medium synkroniseres (hvad enten det er i en violinstreng, en bro, en skibsskrue, en flyvinge eller i vand). De enkelte bølger presses mod de periodelængder, der ligger nærmest rationelle faktorer af den dominerende bølges periodelængde, i dette tilfælde LNO. Således svarer de fundne periodelængder præcis til faktorer på 1, 1½, 3, 4 og 6 af LNO. Dette vigtige forhold forbigår Grinsted m.fl. i tavshed.

Derudover har jeg i en anden videnskabelig artikel vist, at den anden del af bølgeteorien også er opfyldt for de fundne 5 harmoniske svingninger, nemlig at svingningerne presses til amplituder på rationelle brøker af hinanden. Også dette vigtige forhold forbigår Grinsted m.fl.

Endelig viser beregningsmetoden, at der også forekommer en generel, praktisk taget lineær stigning på 1,18 mm/år gennem de målte 160 år. I flere andre afhandlinger baseret på gamle strandlinjer har vi fundet, at en generel stigningstakt på 1,0 - 1,4 mm/år kan spores tilbage til omkring år 1300, dvs. til den første kulmination af Lille Istid, hvor det absolutte havniveau stod ca. 80 cm under det nuværende havniveau.

Modellernes begrænsninger

De modelberegninger over fremtidens hypotetiske temperatur- og havstigninger, som IPCC foretager, er derimod ikke i stand til at rekonstruere, hvad vi faktisk ved om den nærmeste fortid. Det skyldes efter min opfattelse, at Grinsted og mange andre modelberegnere lægger den udokumenterede antagelse til grund, at havstigningen efter 1970 i overvejende grad er menneskeskabt og derfor ikke fandtes tidligere. Man antager en præmis som årsagsforklaring i stedet for at teste, om denne præmis holder. Vores resultater peger på, at der findes et sammenhængende system af naturlige oscillatorer, der lige som det daglige tidevand også styrer de langvarige svingninger, og at havstigningen efter 1970 primært skyldes, at de to store svingninger (AMO og NAO) begge stiger (kommer i fase) efter 1970, mens de stort set ophævede hinanden (var i modfase) i perioden 1905 til 1970. ■

Replik fra
Aslak Grinsted, Jørgen Peder Steffensen og Bo M. Vinter:

Vores kritik er, at Jens Morten Hansens metode ikke er entydig, og at hans analyse derfor hverken kan be- eller afkræfte antagelsen om, at alle ændringer i havniveauet omkring Danmark i de sidste 160 år kan forklares ved netop de mekanismer, som Jens Morten Hansen fremhæver. Dermed forbliver hans fortolkning et postulat. I svaret fastholder han, at resultatet er "signifikant", men det betyder, at det er usandsynligt, at man ville kunne opnå ligeså gode resultater ved andre antagelser. Vi demonstrerer imidlertid gennem vore "placebotests", at dette simpelt hen ikke kan passe. Vi opnår høje korrelationer med en stribe vilkårlige datasæt.

I sin replik til vort indlæg nævner Jens Morten Hansen vigtigheden af overensstemmelse mellem empiri og teori, dvs. at for at fastslå en årsagssammenhæng, er det ikke tilstrækkeligt at påvise korrelation mellem to datasæt, man skal også have en gyldig fysisk forklaring. Han afviser derfor af gode grunde vores "exoplanet-" og "Frankensteinforklaring". Vi har nævnt vore "modeller" som eksempler på, hvor let det er at finde andre forklaringer på hans data for at illustrere, at Jens Morten Hansens metode har alt for mange frihedsgrader. Vi kunne dog også lave modeller, hvor der faktisk kunne argumenteres for en fysisk forklaring, fx. ved at bruge solpletcyklerne på 88 år og 210 år og så spekulere i den kosmiske strålings indflydelse på klimaet og dermed AMO og NAO. I dette tilfælde ville vi opnå overensstemmelse mellem empiri og teori, men det ville dog ikke være særligt gavnligt. For på grund af analysemetoden, ville vi ende med samme konklusion: Vi kan hverken be- eller afkræfte hypotesen.

Hvad er "præcist"?

I sit svar skriver Jens Morten Hansen, at hans fundne perioder passer "præcis" på hele og halve multipler af LNO. Men det gør de jo netop ikke. I den videnskabelige artikel finder han eksempelvis en periode på 60,5 år, hvilket er 3,25 gange LNO. En kvart periode er faktisk så langt, man overhovedet kan komme fra hele og halve multipler! En anden periode bestemt vha. af Jens Morten Hansens metode er 4,09 gange LNO. Heller ikke et "præcist" multipel. Argumentet om, at perioderne fundet vha. iteration skulle være hele og halve multipler af LNO holder derfor ikke.

I stedet for at stoppe op og reflektere over, at perioderne rent faktisk ikke passer "præcis" på de halve og hele multipler af LNO, efterrationaliserer Jens Morten Hansen i artiklen, at 3,25 omtrent svarer til 3 gange LNO og 4,09 må svare til 4 gange LNO. Man spørger sig selv, hvilke perioder, der ifølge Jens Morten Hansen passer "præcist" med et helt eller halvt multipel af LNO, når tolerancen åbenbart er plus/minus en kvart periode. Svaret er selvfølgelig alle!

Tvivl om den fysiske forklaring

Efter, at Jens Morten Hansen således ukritisk har justeret alle de fundne perioder ind på nærmeste hele og halve multipel af LNO, så testes det i artiklen, om korrelationen mellem måne-modellen og havniveau-data stadig er høj. Men her viser vi jo netop med vores exo-planeteksempel, at denne test ikke er i stand til at skille skidt fra kanel. Man kan opnå samme høje korrelation mellem de 19-års midlede havniveau-data og exo-planeternes perioder.

Vi betvivler også, at Jens Morten Hansen virkelig har en gyldig fysisk forklaring på sin årsagssammenhæng. Han betragter AMO og NAO som cykliske fænomener, dvs. med en fast fase og bølgelængde (i tid). Det er der vist ikke geofysisk bevis for. Hvis man betragter indekserne for AMO og NAO, kan man ganske vist se et par svingninger; men disse svingninger kunne ligeså godt skyldes tidsfaktorerne, som er involverede i processerne, som danner NAO og AMO. Det betyder ingenlunde, at AMO og NAO er cykliske i en bølgeanalyseforstand.

Statistikkens begrænsninger

Vi tillader os at konkludere to ting: 1) Jens Morten Hansens totrins-test af, om de fundne perioder er en hel eller halv gange LNO inden for en tolerance på plus/minus en kvart, og at en sum af en lineær trend og de fundne periodiske svingninger (efter justering til en hel og en halv gange LNO-perioden), kan bruges til at give en høj korrelation med de 19-års midlede havniveau-data er slet ikke egnet til at bekræfte hans hypotese. Hans test har derimod 100 % sandsynlighed for at falde positivt ud, ligegyldigt hvilket data-sæt man tester imod, om det så er havniveau eller "Frankenstein". 2) Jens Morten Hansens 160 års tidsserie er simpelthen ikke lang nok til at be- eller afkræfte hans hypotese. Hvis han havde haft 1000 års præcise data, og han så ved tidsserieanalyse kunne påvise "resonanser" ved 56 år og 74 år, så ville det være en overbevisende test.

Jens Morten Hansen er derfor i samme situation, som de fleste klimaforskere befinder sig i: De eksisterende og pålidelige dataserier fra fortiden er for korte til, at vi udelukkende gennem statistikken klart kan adskille naturlige og menneskeskabte klimaændringer og med 100 % sikkerhed fastslå deres relative størrelser. ■

For en ordens skyld skal det nævnes, at Jens Morten Hansen ikke har fået mulighed for at svare på denne replik i dette nummer.

Redaktionen

Halleluja for miljøforkæmperen pave Frans!

Der er nye, progressive toner fra den katolske kirke i forhold til interessen for natur- og miljøspørgsmål. Biologen Dean Jacobsen hilser i dette indlæg den pavelige interesse velkommen.

Jeg tør godt sige, at den katolske kirke tidligere ikke har markeret sig særlig progressivt i natur- og miljøspørgsmål. Det skal jeg ellers love for, at der er lavet om på med den relativt nytiltrådte Pave Frans. Det er sket med hans ca. 70 sider lange *encyklika*, der i sin engelske udgave hedder *On care for our common home*. Den blev offentliggjort i juni i år og kan hentes på Vatikanets hjemmeside. En encyklika redegør for pavens, og dermed den katolske kirkes, holdning til et væsentligt emne, og den bliver rundsendt til alle biskopper. Det er således et særdeles betydningsfuldt dokument.

Den karismatiske og ydmyge Pave Frans er især blevet kendt og populær for sit store engagement i fattige og udsatte menneskers vilkår. I sin nye encyklika lægger han da også vægt på, at det primært er de i forvejen svageste befolkningsgrupper, der i særlig grad kommer til at lide under konsekvenserne af klimaændringer, forurening af jord, luft og vand, økosystemsammenbrud og tab af biodiversitet. Han ryster heller ikke på hånden, når han slår fast, at verdens alvorlige miljøtilstand og naturødelæggelsen i høj grad er konsekvensen af en pervers global økonomisk orden med rovdrift på naturens ressourcer og en uhæmmet forbrugermentalitet. Han pointerer samtidig, at problemerne ikke blot kan tilskrives en utæmmet befolkningstilvækst.

Imponerende indsigt

Uanset om man er katolik eller ej, så mener jeg, at når en mand, der har opmærksomheden fra 1,2 mia. troende (plus mange andre) udtaler sig om klima, miljø og natur (inklusiv forskning og undervisning), er det værd at høre, hvad han har at sige. Ikke mindst for alle os, der netop forsker og underviser i miljø og natur. Jeg har derfor sat mig ind i Pavens tekst, og under læsningen må jeg indrømme, at underkæben faldt ned, mens mundvigene røg op! Kapitel I, II og III er fx en bemærkelsesværdig konkret, indsigtsfuld og omfattende præsentation af verdens væsentligste miljøproblemer, og denne del kan nærmest bruges som kompendium, hvis man har brug for et hurtigt overblik. Paven er bekymret for de landskabelige værdier, økosystemernes funktion og biodiversiteten og understreger, at den nuværende udryddelse af arter foregår mange gange hurtigere end den naturlige biologiske evolution.

Paven fremfører, at for at vende den aktuelle katastrofale udvikling er det helt nødvendigt, at både politikere og erhvervsledere har modet til at tage de nødvendige beslutninger for at ændre udviklingen. Samtidig bør der på det individuelle plan ske en bevidstgørelse om effekten af vore handlinger på miljøet, på os selv, og på vores medmennesker, særligt de dårligst stillede, der i høj grad bor i udviklingslandene. Fx foreslår han, at der i undervisning i økologi bør indgå etik og ansvarlig omgang med de naturlige systemer, og at der er brug for undervisere, som er i stand til at udvikle en forståelse af solidaritet og omsorg for miljøet og vores medmennesker, som er afhængig af den. Dertil efterlyser han, at der investeres mere i økologisk forskning, så vi kan øge vores forståelse af og endnu bedre: forudse og undgå skadelige effekter af vores aktiviteter på naturen og miljøet. Det er vist budskaber, få vil være unige i!

Spiritualitet i naturforståelse

Men hvad kan encyklikaen ellers give os? Paven formår med elegance og eftertænksomhed at kombinere spiritualitet med natur- og miljøbevidsthed og sætte det hele ind i en holistisk ramme ved gang på gang at påpege, at alting hænger sammen. Et af hovedbudskaberne er tydeligvis, at naturen med dens landskaber, processer og arter har en værdi i sig selv, og at vi ikke har ret til at begå overgreb mod den, men derimod har en moralsk pligt til at sikre, at økosystemer og biodiversiteten ikke forarmes af vores brug af naturressourcerne. Sådanne synspunkter har længe haft begrænset gennemslagskraft, da de er hårdt trængt af en naturforståelse, der selv blandt naturinteresserede er præget af nyttetænkning. Referencerammen og argumentationerne i Pavens skrift er naturligvis primært religiøst funderet, og mange mennesker (især naturvidenskabsfolk) vil måske finde religion totalt irrelevant i en diskussion om natur og miljø. Det skal jeg ikke forholde mig til her. Jeg kan blot konstatere, at det for mig var opmuntrende at læse Pavens skrift, fordi vi med ham tilsyneladende har fået en ny og særdeles indflydelsesrig miljøforkæmper. Halleluja! ■

Om forfatteren

Dean Jacobsen, lektor, ph.d. ved Ferskvandsbiologisk Sektion (FBS), Biologisk institut, Københavns Universitet
Djacobsen@bio.ku.dk

Videre læsning:
http://m.vatican.va/content/francesco-mobile/en/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html

UDGIVELSER

Kampen om Danmarks natur

Denne bog fortæller, hvordan kampen for at bevare den danske natur har udspillet sig siden begyndelsen af 1800-tallet. Både natur og natursyn har undergået dramatiske forandringer i denne periode i takt med, at det danske samfund har ændret sig. Den er skrevet af journalist og forfatter Søren Olsen.

Søren Olsen: Kampen om Danmarks natur. Gads Forlag 2015. 328 sider, 399,95 kr.

BOGANMELDELSE

Eske Willerslev – han gør det døde levende

Anmeldt af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

På forsiden af Kristoffer Frøkjærs bog om den danske "verdensmester" i fossilt DNA, Eske Willerslev, poserer bogens hovedperson frostbidt og i fuldt pelsjæger-outfit med stålsat blik og hånden på geværkolben. Kort sagt, en moderne videnskabelig heltefigur. En handlingens mand, der ikke gemmer sig i laboratoriet, men uden tøven tager livtag med selv den ugæstfrie sibiriske ødemark i sin søgen efter den videnskabelige sandhed. Ja, et liv i videnskabens front er ikke for tøsedrenge, fristes man til at tolke.

Men nu skal der heller ikke gå for megen holger-fortolker i analysen af forsidebilledet. Det korte af det lange er, at historien om Eske Willerslevs vej fra halvkriminel rod i folkeskolen til stjerne på den internationale forskningshimmel bare *er* en god historie. Den historie har man allerede kunnet opleve brudstykker af, hvis man har fulgt med i Eske Willerslevs efterhånden talrige optrædender i radio- og tv-programmer samt avisartikler. Og i denne bog får vi så en samlet historie, på fornem vis formidlet af biologen og videnskabsjournalisten Kristoffers Frøkjær.

Pioner i fossilt DNA

Den faglige ramme i bogen er udviklingen af de metoder, der i dag gør det muligt at ekstrahere og opformere DNA fra gammelt væv eller fra simple jord- eller isprøver – en udvikling, hvor Eske Willeslev har været en pioner. Analyser af dette DNA har åbnet for en verden af viden om for længst døde og uddøde organismer på Jorden. En viden, som har givet os svar på mange spørgsmål om ikke mindst menneskets indvandringshistorie i forskellige egne af verden. Spørgsmål, som kan være ømfindtlige, fordi de kan pille ved lokale befolkningsgruppers egne myter og selvforståelse. Strømmen af resultater, der er udgået fra Willerslevs forskningsgruppe de seneste år, har fået stor videnskabelige og offentlig opmærksomhed over hele verden. Et af de helt store gennembrud var, da det lykkedes Eske Willerslevs gruppe som de første i verden at kortlægge genomet af et fortidsmenneske – en 4000 år gammel grønlandsk mand, hvorfra forskerne kun havde en enkelt hårtot.

Kendskabet til Eske Willerslevs resultater herhjemme er blevet hjulpet godt på vej af, at Eske Willerslev selv er en blændende formidler, der på sin helt egen bramfrie måde ofte optræder i medierne. Man forstår, at hans meget lidt akademiske facon har været en hjælp til at opnå tilladelser fra hhv. aboriginals og indianere til at kunne offentliggøre data om deres forfædres DNA – noget, som andre forskere ikke altid har haft held med.

Den personlige kamp

Udover det rent faglige spor i bogen, er der det mere personlige spor, der handler om Eske Willerslevs opvækst og skolegang, om hans tid som pelsjæger i Sibirien og i det hele taget om de skelsættende begivenheder i livet med op- og nedture, der har ført ham derhen, hvor han er i dag. Man får et indblik i det ekstremt konkurrenceprægede forskningsmiljø, hvor unge forskere med en god ide må kæmpe en hård kamp for at få penge til deres projekter – især hvis der med Eske Willerslevs ord er tale om "high risk – high gain" projekter. Og man får et levende indblik i, hvilken stædighed det kræver og hvilke ofre, man må yde, for at være med, hvor det sner i forskningsfronten.

Alt sammen er det levende fortalt i bogen, der i hovedsagen er en interview-bog, hvor Eske Willerslevs egen måde at udtrykke sig på gives god plads. De faglige og forklarende passager i bogen fungerer også glimrende, måske fordi forfatteren med sin fagbiologiske baggrund har haft de bedste forudsætninger for at forstå, hvad det hele drejer sig om.

Litterære krumspring

Alt i alt føler jeg mig i godt selskab med denne bog. Min eneste anke mod bogen er de, synes jeg, unødvendige mellemspil, som forfatteren har valgt at indlægge som en form for litterær road movie om sin og Eskes Willerslevs weekendtur til Willerslevs ødegård i Sverige. Det er sikkert gjort ud fra en ide om at gøre fortællingen mere levende og personlig. Men det forstyrrer i mine øjne mere end det bidrager til forståelsen af det, bogen egentlig handler om. Der er så rigeligt med substans og spænding i historien om Eske Willerslevs liv og levned, at den slags litterære krumspring er unødvendige.

Kristoffer Frøkjær: Eske Willerslev – han gør det døde levende. Gyldendal 2015. 256 sider, 299,95 kr.

BOGANMELDELSE

Forandringens vinde
- Nye Teknologihistorier

Anmeldt af Laila Zwisler, gruppeleder, Teknologihistorie, DTU. lazw@fysik.dtu.dk

Forandringens vinde med undertitlen *Nye teknologihistorier* er skrevet af fire forfattere fra filosofi- og historikerfeltet indenfor teknologi og videnskab. Bogen tager tre overordnede emner op: Energiteknologi, kommunikations- og informationsteknologi (IKT) samt militærteknologi og har ni historier fordelt under disse emner. Med klart sprog og fine illustrationer tager værket fat i en række problemstillinger, som føles meget relevante for samtiden i et nationalt lys. Læseren får både historisk og filosofisk indgang til en række træk ved nutidens danske teknologiske landskab. Hovedvægten i historierne er lagt på det dynamiske samspil mellem samfund, teknologi, videnskab, kultur, politik, mennesker osv. De fleste kapitler åbner emner op i deres mangfoldighed og viser mange fine aspekter. Hovedbudskabet er, at alt er komplekst og dynamisk og dermed er værket helt klassisk for vor samtids analyser af teknologihistorie. Det betyder også, at bogens fortællinger fejer henover selve teknologien. Dog ignoreres teknologien i sig selv ikke, men nogle gange bliver de mere tekniske detaljer til en opremsning, der ikke får forbindelse til resten af historien.

Mangler noget sammenhængskraft

Det pluralistiske ligger da også klart i bogens undertitel. Med *Forandringens vinde* vil forfatterne ikke fortælle historie*n*, men historie*r*. De enkelte kapitler er skrevet af forskellige forfattere, og det føles tydeligt i bogen. Nogle forfattere forklarer knivskarpt formålet med deres kapitel, og de historiske metoder, der bærer analysen, er tydelige. Forfatterne er velargumenterede, og centrale argumenter er understøttet med referencer. Andre kapitler er lagt ind i en rammefortælling, og der kommer ikke rigtigt fokus og metode på disse kapitler. Når forfatterne så heller ikke underbygger udsagn med referencer, fremstår de som causerier. Bogen mangler noget indre sammenhængskraft, især IKT-historierne ligger tæt på hinanden uden rigtigt at bruge hinanden til noget.

Et godt træk er, at forfatterne træder ud og ind af historierne og forklarer vigtige begreber, antagelser og metoder i teknologihistorie. På denne måde får læseren en indsigt i en række teorier og debatter indenfor den teknologihistoriske faglighed. Det kunne dog være interessant, hvis forfatterne havde forholdt sig til stoffet på flere niveauer. De kunne have forholdt sig til det tidstypiske kollektive tankegods, som tilsyneladende påvirker en række af personerne i historierne.

Faren ved bagudskuende historie

Historierne har en særlig problematik, fordi de ofte baserer sig på spørgsmål, som er udvalgt ud fra vores samtid og ikke ud fra, hvad der var relevant i den fortid, de egentlige begivenheder har udspillet sig i. Der er altid en vis fare ved den bagudskuende historie. Man kan misforstå eller ikke få øje på lokale og overraskende træk ved samtiden, som havde betydning for udfaldet. Men denne krævende øvelse tager de erfarne forfattere som regel udemærket hånd om. Mange af historierne bygger nemlig på forfatternes egne historiske analyser, som netop er lavet fremadskridende.

Men enkelte steder går det ikke helt så godt. Der er forsøg på at række henover tiden og det lokale. Et eksempel er kapitel 5, hvor sammenligninger af teknologiers udvikling over tid er en del af argumentationen for, at IKT er en af de mest radikale innovationer i teknologiens historie. Her oversimplificerer forfatteren komplekse historiske problemstillinger uden at understøtte diskussionen med referencer til mere dybtgående analyser. Forfatterens brug af udsagn hentet fra historien ligner en efterrationalisering, som skal understøtte idéer om nutiden. Forfatteren har mange interessante betragtninger om nutiden, men den historiske argumentation holder ikke.

Velgørende med dansk vinkel

Bogen lægger stor vægt på danske forhold og det er et meget interessant fokus. Den teknologiske udvikling foregår internationalt, men meget teknologihistorie omhandler kun USA og England. Så selvom *Forandringens vinde* fortæller meget om netop de to lande, er den danske vinkel et velkomment indspark.
Skal man kun læse én historie i bogen, så vælg historien om Camp Century. Det er en fantastisk og forfærdende fortælling om koldkrigsvanvid, teknologi og politisk spin.

Henry Nielsen, Kristian H. Nielsen, Keld Nielsen og Hans Siggaard Jensen: Forandringens vinde – nye Teknologihistorier. Praxis - Nyt Teknisk Forlag 2014. 375 sider, 329,- kr.

UDGIVELSER

Ud i rummet

Bogen Ud i rummet er udgivet i anledning af "det danske rum-år" 2015, hvor Andreas Mogensens mission til den internationale rumstation ISS er bogens afsæt. I bogen fortæller forfatterne, Henrik og Helle Stub, om rumfartens historie og om teknikken og fysikken bag rumfart. Den handler også om de samfundsmæssige perspektiver, økonomi og politik, og om astronauterne og deres arbejde.
Helle og Henrik Stub: Ud i rummet – historie, drømme og virkelighed. Videnskab.dk/ Ajour 2015. 232 sider, 228,- kr.

Vulkaner

Her er tale om en opdateret og udvidet version af bogen vulkaner, der første gang udkom i 2012. Bogen er skrevet af lektor i geologi ved Københavns Universitet Paul Martin Holm, og det er fagmandens beretning om det imponerende fænomen fortalt til ikke-fagfolk. I 2.udgaven er der helt nye beretninger med – fx om den utrolige lavamark Holuhraun skabt af et vulkanudbrud i 2014-2015 og om vulkanen Picos hærgen på Kap Verdeøen Fogo, der endte tidligere i år.
Paul Martin Holm: Vulkaner – Varme hilsner fra Jordens indre. 2. udgave, Gyldendal 2015. 253 sider, 299,95 kr.

Aktuel NATURVIDENSKAB

Udgiver
Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:
- Danmarks Tekniske Universitet
- Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Det Naturvidenskabelige Fakultet og Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- Roskilde Universitetscenter
- Danmarks Meteorologiske Institut.

Styregruppe
- **Bo T. Andersen**, afdelingsleder, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Joakim Groth**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Annette Lind**, områdeleder, chefkonsulent, Det Teknisk--Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet

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

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

Ansvarshavende
Dekan Niels Christian Nielsen, Science & Technology, Aarhus Universitet

Redaktion
Redaktør Jørgen Dahlgaard og redaktør Carsten Rabæk Kjaer
Tlf.: 87 15 20 94
E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk
Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk
Postadresse: Aktuel Naturvidenskab, Ny Munkegade 120, Bygn. 1520, 8000 Århus C

Abonnementspris 2015
294 kr. i DK for 6 numre, inkl. moms og porto.

Abonnementsservice: Telefonnr.: 70 25 55 12
e-post: aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Layout og illustration: Jørgen Dahlgaard
Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S
ISSN: 1399-2309 (papirudgaven), 1602-3544 (web)
Oplag: 8.000

Omslag:
Orion stjernetågen er et af de mest undersøgte og fotograferede objekter på nattehimlen. Det er en diffus tåge af gas og støv beliggende i stjernebilledet Orion.

Foto: NASA,ESA, M. Robberto (Space Telescope Science Institute/ESA) and the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team

NORDISK MILJØMÆRKNING
Svanemærket tryksag 5041-0601

Fagpanel

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

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

Sponsorabonnenter:

GRUNDFOS
DUPONT®
novo nordisk®
novozymes® Rethink Tomorrow

Intropakke

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

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

Abonnementsservice

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

Kontakt abonnementsservice på
Telefon: **70 25 55 12**
Mandag-torsdag kl. 8-16, fredag kl. 8-14.
aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: **aktuelnaturvidenskab.dk**

Husk at melde flytning til ny adresse.
Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

Oprydningssalg

Mangler du nogle numre af bladet?
Så er der nu en chance for at supplere samlingen med dette tilbud:

Tilbudspakke med ældre ikke udsolgte numre ca. 26 blade (fra år 2007-2013):

Pris kun 250,- inkl. porto (dk) og moms.

Se mere og bestil via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk eller på telefon 7025 5512.

Citizen science

Hjælp forskere med at registrere havnatur

Vi ved alt for lidt om tilstanden og den biologiske mangfoldighed i de danske havområder. Men det kan enhver dansker nu være med til at råde bod på. Opdag havet er et såkaldt "Citizen science" projekt, som er sat i værk af forskere fra Center for Makroøkologi, Evolution og Klima ved Københavns Universitet i samarbejde med Verdensnaturfonden (WWF). Enhver med interesse for naturen kan bidrage til projektet ved at være med til at indsamle data om en række genkendelige og forholdsvis almindelige arter. Registreringen foregår via app'en, Opdag havet, som er udviklet til formålet og som findes både til Android og iOS.

Foto: Malene Thyssen, commons.wikimedia.org

Den blå brandmand er en af de arter, som kan registreres i app'en *Opdag havet.*

Når man har downloadet app'en og oprettet sig som bruger, er det blot at tage ud til havet med sin smartphone. Hvis man spotter en af de angivne plante- eller dyrearter, markerer man den i app'en, og via telefonens GPS registreres det, hvor og hvornår du har spottet den. App'en er indrettet med to indgange, som kan vælges alt afhængig af, om man er inde på stranden eller ude på havet.
Forskerne bruger de indsendte observationer til at undersøge biodiversiteten og miljøtilstanden på forskellige levesteder og kortlægge arterne.

Det nye projekt Opdag Havet koncentrerer sig om livet i havet, men det er også muligt at registrere dyr og planter på landjorden med en tilsvarende app Naturtjek. Den er udviklet af de samme forskere og i samarbejde med Danmarks Naturfredningsforening. Derved kan forskerne både følge udviklingen over tid i de våde og tørre naturområder i landet. Begge projekter er støttet af Aage V. Jensen Naturfond.

Nyhedsbrev

Tilmeld dig det elektroniske nyhedsbrev og få nyt om Aktuel Naturvidenskab i din mailboks.

Du får:
- **Artikler på forhånd, når der er en aktuel anledning**
- **Appetitvækkere og link til artiklerne digitalt**
- **Information om andre aktuelle tiltag.**

Tilmeld dig via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Mød os på Facebook.com/aktuelnaturvidenskab

Førsteårs-forskere

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Ind imellem tænker jeg, at en korrekturopgave fra helvede må være at faktatjekke forfatterlisten på en ny gennembrudsartikel fra et af de store eksperimenter på CERN. For her kan der optræde langt over 1000 forfattere, og forestil dig lige at blive sat til at tjekke, om navnene er stavet rigtigt og er blevet tilknyttet de rette værtsinstitutioner.

De voluminøse forfatterlister afspejler, at videnskab – især det, vi kalder big science – ofte foregår i store forskningskonsortier. Forskning behøver dog ikke være big science i CERN-forstand for at involvere mange deltagere. En nylig artikel i det videnskabelige tidsskrift *ChemNanoMat* er et godt eksempel på det. På denne artikel optræder der mere end 60 forfattere, men det specielle ved forfatterskaren er, at flertallet af dem ikke har professor- eller doktortitler. Nej, de er studerende på et førstesemester-kursus i nanoscience ved Kemisk Institut, Københavns Universitet.

Når filmen er tynd

Det er lektor ved Nano Science Center Thomas Just Sørensen, der er hovedarkitekten i den forskning, som nu er publiceret i det omtalte tidsskrift. Han fortæller, at undervisningen i nanoscience er bygget op ud fra den filosofi, at de studerende lige fra de starter på deres uddannelse skal deltage i forskningen ved centeret – forskningsbaseret undervisning i den yderste konsekvens, kan man kalde det. »Faktisk har omkring 250 studerende siden 2010 deltaget i det forskningsprojekt, som vi for nylig har fået publiceret i *ChemNanoMat*«, siger Thomas.

Forskningen handler om tynde film – eller tyndfilm – som er noget, vi alle kender til i vores hverdag. Fx er maling og lak tynde film, ligesom skærmene på vores TV-apparater og smartphones er bygget op af en serie af tynde film med forskellige funktioner.

»Vores projekt går ud på at lave tyndfilm med en høj grad af molekylær orden, fortæller Thomas. »Vi har sammen med de studerende skabt nye materialer ved at blande farvestoffer og sæbe, hvor sæben ligger i lag, der adskiller lag af farvestoffer. I vores system er der kun én farve, men den lagdelte struktur er meget lig, hvad der findes i skærme og LED'er.«

Tegn en skærm

På nuværende tidspunkt har det materiale, Thomas og de studerende arbejder med, ingen funktion i sig selv. Så det videnskabeligt interessante er, at de har vist, at de ud fra en opløsning af materialet kan lave en tyndfilm, hvor der er styr på den molekylære orden. Thomas fortæller, at det at kunne styre den molekylære orden i tyndfilm er afgørende for, at man vil kunne anvende tyndfilm til en række nye spændende ting. »Det er sådan noget som at kunne "tegne" en fungerende computerskærm på en væg eller at male solceller på taget af et hus. Lige nu er det stadig science fiction at tale om sådanne anvendelser, men jeg tror på, at forskningen vil kunne bringe os derhen«, siger Thomas.

Næste års forskere? På KU går nye nanoscience-studerende direkte til videnskaben. Foto: Jes Andersen/KU

De kommende år vil Thomas med sine studerende arbejde videre med materialerne og kortlægge, hvilke molekylære byggeklodser man kan bruge og stadig få lagdelte tyndfilm. »For at opnå et funktionelt materiale skal vi så senere have valgt de rigtige molekylære byggeklodser, og så skal vi finde en effektiv måde at sende strøm gennem materialet på. I den proces skal vi bruge hele spektret af avancerede værktøjer i den nanoteknologiske værktøjskasse – og så skal vi selvfølgelig også bruge en hulens masse studerende,« slutter Thomas.

Ref: M. santella et al. ChemNanoMat 2015, 1, 253. ■