

Aktuel NATURVIDENSKAB

3 | JULI | 2014

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00



Fra genetik til epigenetik

Ion-batterier – den næste generation

En dansk model for smart grid

Lækre lopper scorer bedst - seksuel selektion



Frank Lisbjerg Borum er formand for Fysiklærerforeningen og lektor ved Marselisborg Gymnasium i Aarhus
fb@marselisborg-gym.dk

Mere naturvidenskab?

Et af formålene med gymnasireformen i 2005 var at styrke naturvidenskaben. Men den nylige reform af reglerne for valgfag fra 2013 har nu haft den stik modsatte effekt.

I ngen tvivl om, at et bedre kendskab til naturvidenskab og naturvidenskabelig tankegang vil give mere kvalificerede diskussioner. Det er en del af almindelsen, at man kan gennemskue simple naturvidenskabelige argumenter og selv kan lave følgeslutninger ud fra den indsigt, som man har fået ved at læse i fx en avis. Hermed ikke sagt, at man skal være ekspert på nogen måde, men man skal kunne deltage i samfundsdebatten på et kvalificeret grundlag. Et eksempel kunne være klimadiskussionen. Jordens klima som resultat af vekselvirkninger mellem Jorden, atmosfæren og universet er der vel ikke nogen, som vil påstå, at man har forstået til bunds. Derfor kan vi godt tale om begrebet klima på en fornuftig måde, specielt hvis vi har lidt kendskab til drivhuseffekt, havstrømme og energiformer. Denne viden opnår gymnasieelever ved at følge den naturvidenskabelige undervisning. Det er således gennem undervisningen i naturvidenskab, at eleverne bliver i stand til at deltage meningsfuldt i mange vigtige debatter, og det er gennem naturvidenskabelig indsigt, at vi undgår, at jordstråler, auralæsning og horoskoper bliver tillagt anden værdi end den underholdningsmæssige.

Den logiske slutning er, at alle gymnasieelever bør have naturvidenskab og helst så meget, at de opnår en naturvidenskabelig dannelse. Her er det vigtigt at skelne mellem den almindelige naturvidenskab og den studieforberedende. Groft sagt er det nok, at eleverne ved, hvordan og hvorfor verden fungerer som den gør. Kun hvis de skal bruge naturvidenskab videre i deres studie, er det vigtigt også at kunne beskrive naturen matematisk.

Verden er bare ikke logisk!

I hvert tilfælde ikke, hvis man inddrager økonomiske betragtninger. Den nuværende gymnasiestruktur blev indført i 2005 og lagde op til, at eleverne gennem deres studieretninger skulle vælge fag, som støtter op om deres fremtidige karrierer. Skulle elever have valgt forkert, er der mulighed for at opnå de manglende kvalifikationer gennem gymnasiale suppleringskurser. Problemet har imidlertid været, at eleverne kvalificerer sig til videregående uddannelser gennem et karaktergennemsnit, hvor suppleringskurserne ikke tæller med. Man kan således læse fysik, hvis

man har fx 9,0 i gennemsnit, også selv om man har 02 i fysik og matematik, som er kernefagene på dette studie. En absurd situation, som har ført til godt 12.500 suppleringer årligt.

Løsningen på ovenstående blev foreslået i foråret 2013. Ideen var at få flere til at vælge matematik B i gymnasiet, så de ikke senere skulle supplere. Derfor blev valgfagsreglerne lavet om, så elever, der valgte matematik B, ikke behøvede at vælge et naturvidenskabeligt fag på B-niveau. De faglige foreninger i fysik, matematik, kemi, biologi og naturgeografi advarede om, at de ændrede regler ville give ca. 11.000 elever mulighed for at fravælge naturvidenskab uden at tilvælge matematik B, da de allerede havde faget. Politikernes svar på vores henvendelse var, at det var der styr på, at det næppe ville ske, og at Undervisningsministeriet havde området under observation.

I foråret 2014 lavede vi i de faglige foreninger så vores egen undersøgelse. Vi opgjorde mere end 4.000 elevers valg af valgfag. Tendensen var klar: Det er gået præcist, som vi advarede om – mange elever med matematik B har fravalgt naturvidenskab. Vi sendte derfor igen vores tal til politikerne, og derefter lavede undervisningsministeriet deres egen undersøgelse. Den viser, at 1.423 færre har valgt fysik B eller kemi B, 5.270 færre har valgt biologi B eller naturgeografi B, og at 1.419 flere har valgt matematik B.

Operationen lykkedes, men patienten døde!

Nogenlunde således vil jeg betegne ovenstående tal. For godt nok skal 1.419 elever nu ikke supplere til matematik B, men potentielt skal 1.423 elever supplere til enten fysik B eller kemi B, så besparelsen på suppleringskurserne udebliver. Samtidig taber 5.270 elever naturvidenskabelig dannelse ved ikke at læse biologi B eller naturgeografi B.

Vi har ikke hørt, hvad politikerne vil gøre, eller om de vil gøre noget. Så vi venter spændt på den næste "reform" af valgfagsreglerne, som endnu engang kan være med til at "styrke" naturvidenskaben, hvilket var et af de oprindelige formål med gymnasireformen i 2005. ■



8

Lækre lopper scorer bedst

Betydningen af seksuel selektion for mikroskopisk dyreplankton har hidtil været upåagtet. Men seksuel selektion kan være så kraftig, at en meget stor del af planktondyrene forbliver ubefrugtede og således ikke bidrager til produktionen af fiskeføde i havet.



22

Ion-batterier – “The Next Generation”

Lithium-ion batterier er strømkilden, der har revolutioneret vores transportable elektronik. Familien af ion-batterier er imidlertid større end som så og har meget, meget mere at byde på.

Indhold

FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
Lækre lopper scorer bedst	8
Modstandsdygtige fluer	12
På vej mod det fossilfrie Danmark	16
Ion-batterier – “The Next Generation”	22
Danske fjorde lider under fortidens synder	28
Fiskeyngel er fremtidens nytårstorsk	32
Fra genetik til epigenetik	36
Dansk verdensarv	46

PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: Mere naturvidenskab?.....	2
Det er Massen, der gør det!	42
Boganmeldelse: 80 års klimæændringer set fra luften	49
Bagsiden: Meningsfyldt nonsens.....	52



36

Fra genetik til epigenetik

De senere år er det blevet klart, at celler indeholder anden arvelig information end den, der er indeholdt i den genetiske kode. Det har gjort epigenetik til et yderst varmt forskningsemne, der har ført til ny erkendelse om organismers udvikling og kan lede til potentielle behandlinger for folkesygdomme som kræft.

Blæs på lægen

I dag findes der apparater, der ved at analysere luftens indhold af molekyler kan detektere sprængstoffer, kemiske våben eller narkotika. Forskere ved Syddansk universitet vil nu udvikle metoder, så man kan bruge et sådant apparat til at diagnosticere sygdomme på baggrund af den luft, vi udånder. Det er lektor Jan Baumbach fra Institut for Matematik og Datalogi på Syddansk Universitet, der sammen med lungemedicinsk afdeling på Odense Universitetshospital, står bag projektet. Når vi bliver syge sker der en række ændringer i kroppens kemi, som det i princippet er muligt at detektere. Det ældst kendte eksempel på dette fænomen er, at ubehandlet sukkersyge kan give store koncentrationer af ketoner i blodet, som giver patienterne en karakteristisk lugt. Det vil imidlertid være meget mere interessant, hvis man kan diagnosticere sygdomme på et meget tidligt tidspunkt ved at "sniffe" sig frem til fine nuancer i sammensætningen af molekyler i udåndingsluften. SDU-forskernes projekt går således ud på at finde nye biomarkører for forskellige sygdomme, hvor de for tiden udfører forsøg med patienter med luftvejslidelser på lungemedicinsk afdeling.

Detektoren kan måle tusindvis af forskellige stoffer samtidig, når man puster i det, og det udmønter sig i sagens natur hurtigt i en meget stor mængde data, når man måler på mange patienter. Opgaven for forskerne består der-



Jan Baumbach (tv) og samarbejdspartner på Odense Universitetshospital Anders Christiansen (i midten) overvåger en test af maskinen, der skal hjælpe med at spore sygdomme i vores udåndingsluft.

Foto: Lars Skaning/SDU.

for populært sagt i at gøre den kunstige intelligens, som dataene analyseres med, god nok til at finde de relevante forskelle på raske og syge patienter i denne syndflod af data. Udfordringen bliver ikke mindre af, at, også andre helt normale aktiviteter som at dyrke sport eller spise også giver ændringer i de kemiske signaler, man kan måle i udåndingsluften.

Hvis det lykkes for forskerne at finde diagno-

stiske mønstre for en række sygdomme, vil man kunne anvende metodikken i en almindelig lægepraksis. Selve detektoren er nemlig allerede på nuværende tidspunkt ikke speciel kostbar ligesom en måling også kan gøres for en pris på ca. 10 kr., så der skal i princippet ikke megen teknologiudvikling til for at gøre den til standardstyr hos lægen.

CRK, Kilde: Syddansk Universitet

Matematik mangedobler nethastigheden

Matematiske ligninger kan gøre internetkommunikation via computer, mobil eller satellit mange gange hurtigere og mere sikker end i dag. Resultater med software, som forskere fra Aalborg Universitet har udviklet i samarbejde med amerikanske Massachusetts Institute of Technology (MIT) og California Institute of Technology (Caltech), tiltrækker stor opmærksomhed i internationale teknologimedier.

Et konkret nyt forsøg benytter en fire minutter lang mobilvideo som eksempel. I forsøget medførte de danske og amerikanske forskeres metode, at videoen blev hentet fem gange så hurtigt som normalt via WiFi. Samtidig blev den streamet uden afbrydelser. Til sammenligning gik den originale video i stå 13 gange undervejs.

Internetkommunikation deler data op i pakker. Fejlkontrol sikrer, at signalet når frem i original form, men det betyder ofte, at det er nødvendigt at sende en del af pakkerne flere gange, og det sløver netværket.

De danske og amerikanske forskere lægger i stedet op til at løse problemet med en særlig form for netværkskodning, som udnytter snedig matematik til at lagre og sende signalet på en anden måde. Fordelen er, at fejl undervejs ikke kræver, at en pakke skal sendes igen. I stedet bruges de forudgående og efterfølgende data til at rekonstruere dét, der mangler, via en matematisk ligning. Forudsætningen for, at det fungerer, er dog, at data kodes og dekodes med den patenterede teknologi.

Professor Frank Fitzek fra Aalborg Universitet og to af hans tidligere studerende fra Institut for Elektroniske Systemer, udviklerne Janus Heide og Morten Videbæk Pedersen, har sammen med de amerikanske kolleger stiftet softwareselskabet "Steinwurf". Selskabets software gør RLNC-teknologien (Random Linear Network Coding) tilgængelig for hardwareproducenter, og der er gang i hemmelige forhandlinger, som skal bringe forbedringerne ud til forbrugerne.

Carsten Nielsen, Kommunikationsmedarbejder, Aalborg Universitet

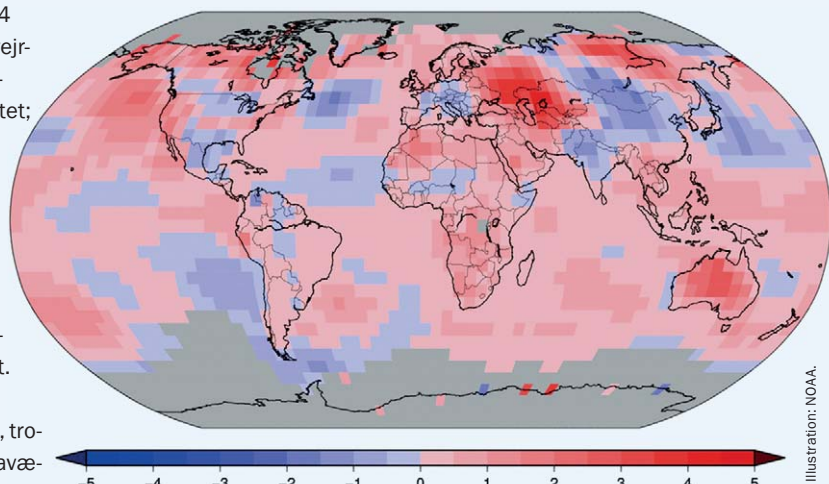
El Niño skruer op for varmen

Med en global gennemsnitstemperatur på 15,54 °C, var maj 2014 den varmeste maj målt på Jorden. Det oplyser den amerikanske vejr-tjeneste NOAA, som har data tilbage til 1880. Set i forhold til reference-periode 1961-1990 lå maj i 2014 0,74 °C over gennemsnittet; hovedsagligt på grund af usædvanligt høje havtemperaturer. Og så er det ifølge NOAA endda anden måned i træk, at Jorden sætter varmerecord.

Også ifølge NOAA er de 5 første måneder af 2014 den 5. varmeste januar-til-maj periode, der er målt. Alligevel regner klimaforskerne med, at 2014 har en god chance for samlet set at blive det næst-varmeste, måske endda det varmeste, år, der overhovedet er målt.

»En såkaldt El Niño med særligt høje havtemperaturer i det centrale, tropiske Stillehav er under opsejling. El Niño har været forholdsvis fraværende i en længere periode, og da El Niño påvirker lufttemperaturen over meget store områder og dermed den globale gennemsnitstemperatur, er det ekstra interessant at følge udviklingen netop nu«, forklarer forskningsleder ved Danmarks Klimacenter på DMI, Jens Hesselbjerg Christensen.

El Niño er en naturlig klimasvingning, men når dens opvarmning, som typisk varer omkring et år, lægges oveni den menneskeskabte globale opvarmning, giver det særligt varme år globalt. Jens Hesselbjerg håber, at et varmt år kan være med til at flytte fokus tilbage på de globale klimaproblemer.



Figuren viser hav- og landtemperaturernes afvigelse i grader fra gennemsnittet i maj måned 2014.

»Vi har – lidt uheldigt for klimadebatten – været inde i en periode, hvor mange naturlige klimavariationer har trukket i den kolde retning. Det er ved at være slut nu, så de kommende år vil vi formentlig se en del varmerecorder falde,« slutter forskningslederen.

Niels Hansen, DMI.

Stop for diesel-osen

Små partikler strømmer ud af udstødningsrøret på diesel-kranen. På byggepladsen står den mobile kran i tomgang og hoster sundhedsskadelige NO_x-gasser og sodpartikler ud af systemet. De farlige gasser og partikler er kræftfremkaldende og øger risikoen for hjerte-kar-sygdomme og astma. Men nu har forskere fra Syddansk Universitet fundet en metode, hvor man helt kan undgå farlige partikler fra biler og maskiner.

Ph.d.-studerende Jeanette Hvam fra Institut for Kemi-, Bio- og Miljøteknologi har sammen med sine forskerkollegaer fundet en måde at kombinere bilens katalysator, som omdanner de farlige gasser til vand og luft, med filteret, som sorterer sodpartikler fra. Det gør rensningen af udstødningsgasserne mere effektiv. De seneste laboratorieforsøg har vist, at ingen farlige sodpartikler kommer gennem det nye "katalysator-filter" samtidig med, at NO_x-gasserne reduceres betydeligt.

Filteret er lavet af materialet siliciumkarbid, som blandt andet bliver brugt i rumfærgers var-



meskjold, fordi det er et stabilt stof og næsten ligeså hårdt som diamant, der faktisk bruges i traditionelle filtre. Diamant har den ene ulempe, at hvis det udsættes for ekstrem varme i luft, bliver det til kul. Siliciumkarbid er derimod kemisk stabilt under næsten alle betingelser. Det nye filter er udviklet i samarbejde med virksomheden Dinex, som producerer komplette udstødningssystemer til lastbiler, busser, varebiler og industrikøretøjer. Og netop i forhold til ikke-vejgående maskiner er det nye partikelfilter interessant, fordi EU gradvist strammer kravene til, hvor mange partikler og giftige gasser maskiner på byggepladser må udlade. Virksomheden forventer, at prototyper af det nye partikelfilter med katalysator skal ud at køre på specialmaskiner i år og i egentlig produktion i 2016, hvor alle ikke-vejgående maskiner også skal leve op til de nye skærpede EU-krav.

Mette Christina Møller Andersen, SDU TEK

Et nyt "katalysator-filter" kan fjerne både partikler og skadelige NO_x-gasser fra byggepladsernes store dieselkøretøjer.

Foto: Colourbox

Første kontinentalskorpe lignede Island

Geologer mener, at den første kontinentalskorpe blev dannet for mere end 4 milliarder år siden ved, at magma (smeltet klippemateriale) brød igennem den tætte oceanbundsskorpe og størknede ovenpå. Island anses for at være en moderne analog til, hvordan dette foregik. Men den kemiske sammensætning af bjergarterne i Island adskiller sig fra de typiske bjergarter fra kontinenternes "barndom" med aldre mellem 2,5 og 3,9 milliarder år, man hidtil har fundet. Nu har Jesse Reimink og kolleger fra University of Alberta i Edmonton, Canada, opdaget bjergarter i det nordvestlige Canada, som er 4,02 milliarder år gamle og med samme kemiske signatur som bjergarter fra Island. Forskerne mener, at deres data viser, at den første kontinentalskorpe faktisk blev dannet i et geologisk miljø svarende til Island i dag.

CRK, *Nature Geoscience* (2014), doi:10.1038/ngeo2170



Island (her repræsenteret ved vulkanen Grimsvötn) er en moderne analog til, hvordan den første kontinentalskorpe blev dannet.

Foto: Henrik Thorburn

En broget farvandsudsigt

»Endelig lysner det for danske farvande« var overskriften på en nyhed på Videnskab.dk i starten af juni, der refererede en nylig ph.d.-afhandling lavet under et forskningssamarbejde mellem Aarhus Universitet og Københavns Universitet. Og det kan jo synes som i modstrid med en pressemeddelelse fra Syddansk Universitet fra maj måned med overskriften »Bekymrede biologer: Danmarks fjorde har fået varige skader«. Kontrasten kan synes særlig stor, hvis det eneste, man har fået fat i ved en hurtig skimning, er, at den ene historie konkluderer, at vandet i fjordene i dag er lige så uklart som for 30 år siden uden udsigt til bedring, mens den anden siger, at sollyet i dag trænger længere ned i vandsøjlen i de danske farvande end for 23 år siden. Og det kan jo umiddelbart lyde som modsigelser. Men ved nærmere øjesyn fordampes den store uenighed. Således gælder SDU-forskernes undersøgelse (som

man kan læse meget mere om i en artikel i dette nummer) for lavvandede fjorde som Odense Fjord, hvor der er problemer med bunderosion, mens ph.d.-afhandlingen fra Aarhus Universitet bygger på resultater fra seks stationer fordelt over landet på mere åbent vand med vanddybder på 10-50 m. På disse stationer har ph.d. Maren Lyngsgaard kunnet påvise, at reduktionen af mængden af kvælstof i vandet over de seneste 15 år har ledt til en omfordeling af alger i vandsøjlen. I dag er der således relativt flere alger dybere nede i vandsøjlen, og samtidig er der forsvundet alger fra de øverste lag. Det betyder, at sollyset kan trænge længere ned, hvilket hun ser som tegn på en generel forbedring af vandmiljøet, som kan være på vej mod en tilstand, hvor liv igen kan vende tilbage til de iltfattige områder.

CRK, *Kilder: videnskab.dk* <http://www.sdu.dk/>

Livgivende protein-partnerskab

Proteinet med det borgerlige navn Izumo1 findes på overfladen af sædceller, og det spiller en nøglerolle i befrugtningen, idet det er afgørende for, at sædcellen kan binde sig til ægget. Proteinet blev opdaget tilbage i 2005, men man har ikke vist, hvad der har været Izumo1's modpart – dvs. hvad dette protein har bundet sig til på æggets overflade. Det har forskere nu afsløret. Biokemikeren Gavin Wright fra Wellcome Trust Sanger Institute i Storbritannien har sammen med sine kolleger fundet, at et protein kaldet folat-receptor 4 er "the missing link". Udfordringen med at finde frem til proteinet har været, at de to proteiner binder ret svagt til hinanden. Det var derfor først, da forskerne udviklede en metode til at koble Izumo1 sammen i større bundter og derefter studere, hvilke samlinger af proteiner de bandt sig til på overfladen af cellekulturer af museæg, at det lykkedes at identificere partneren til Izumo1.

Forskerne fandt, at proteinet – som de har omdøbt Juno – også findes i pattedyr og dermed mennesker, og at uden Juno kan æg og sædceller fra mennesker ikke smelte sammen. Ligeledes fandt de, at hun-

mus, der er genetisk modificeret til at mangle Juno-proteinet, er sunde og raske, men ude af stand til at formere sig.

Juno har tilsyneladende også en anden vigtig opgave, nemlig at forhindre andre sædceller i at binde sig til ægget, når først det er befrugtet. Når en sædcelle har sluttet sig til et æg, forsvinder Juno således fra æggets overflade i løbet af 30-45 minutter.

Ifølge forskerne er Izumo1 og Juno det første kendte eksempel i nogen organisme på et protein-partnerskab, der er essentielt for reproduktion. De nye resultater kan få betydning for fertilitetsbehandling i det omfang, at den manglende evne til at blive gravid skyldes manglende eller defekte Juno-proteiner. I de tilfælde vil en behandling kunne være at indsprøjte en enkelt sædcelle direkte i ægget. Omvendt vil man måske kunne udvikle en ny type prævention ved at gribe ind i koblingen mellem de to proteiner.

CRK, *Kilde: Nature* doi:10.1038/nature.2014.15058

Vikinger på Madeira

Selvom portugiserne begyndte at bosætte sig på øen Madeira omkring 1420, har forskerne længe haft en mistanke om, at øen har haft besøg udefra langt tidligere. DNA-prøver fra øens bestand af mus har nemlig vist, at deres nærmeste slægtninge ikke befinder sig i Portugal, men i Skandinavien, og det kunne godt forklares med, at musene er kommet til øen som blinde passagerer på vikingeskibe. I så fald må vikingerne have været på øen adskillige århundreder før portugiserne.

Nu er det lykkedes spanske forskere at datere museknogler fundet på Madeira, og det har afsløret, at de skandinaviske mus allerede var på øen på et tidspunkt mellem år 900 og 1030, hvilket udelukker, at de kan være kommet der til sammen med de portugisiske søfarende. Forskerne mener derfor, at vikingerne sandsynligvis var de første, der ankom til Madeira, selvom de understreger, at der ikke er nogen historiske optegnelser eller andre beviser på vikinernes tilstedeværelse.

Det sidste skal vi nu nok være glade for, eftersom forskerne også mener, at musenes ankomst udløste en større økologisk katastrofe på Madeira, hvor musene på kort tid gjorde det af med over to tredjedele af øens unikke bestand af små og mellemstore fugle. I disse tider, hvor det er blevet populært at forlange undskyldninger for fortidens gerninger og helst i en form af en økonomisk kompensation, er det jo ikke til at vide, hvad regningen for vikinernes invasion på Madeira kan løbe op i.

Jens Olaf Pepke Pedersen, Kilde: *Proceedings of the Royal Society B*.

DOI: 10.1098/rspb.2013.3126.

Musebestanden på øen Madeira har skandinaviske rødder, hvilket peger på, at vikingerne besøgte øen længe før portugiserne bosatte sig der.

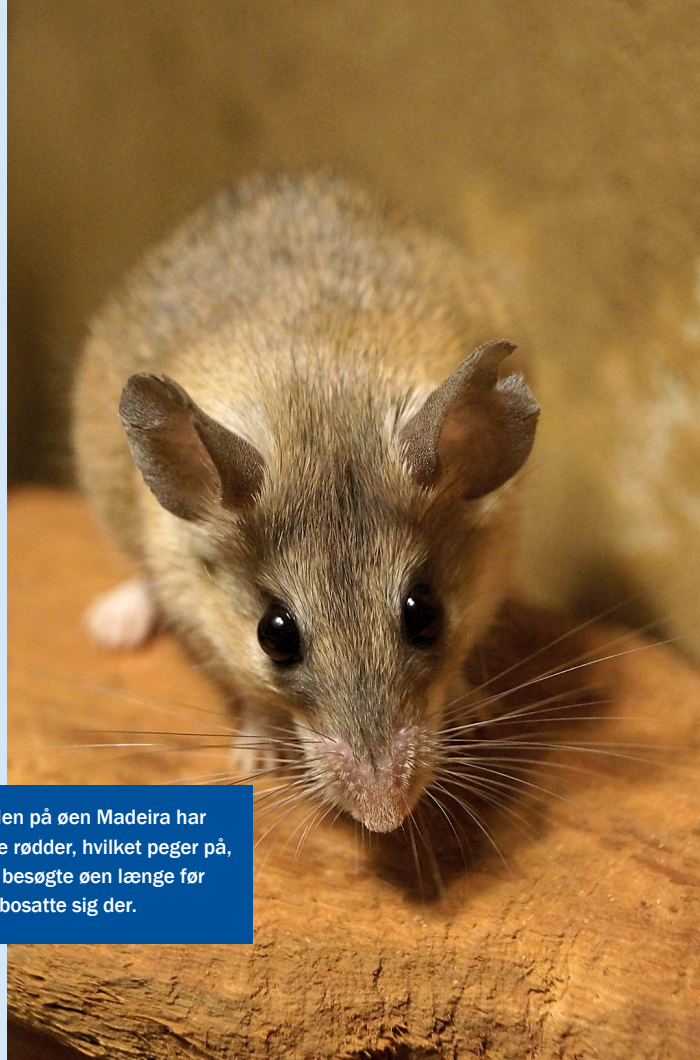


Foto: Colourbox

Krypton giver nøjagtig alder på is

Et internationalt forskerhold har for nyligt dateret prøver af is fra Antarktis til at have en alder på 120.000 år. Det viste man sådan set godt i forvejen, men man har som noget nyt brugt radiometrisk krypton-datering til at sætte alder på isen. Det er ifølge forskerne den til dato mest nøjagtige metode til at datere gamle isprøver, og det åbner samtidig for muligheden for at kunne datere is, der er helt op til 1,5 millioner år gammel.

Krypton-datering fungerer i princippet ligesom datering med kulstof-14, idet man måler mængden af en radioaktiv isotop af krypton (krypton-81), der henfalder med en konstant halveringstid, og sammenligner dette med en stabil isotop (krypton-83). Krypton er en ædelgas, som ikke gerne vekselvirker kemisk, og den radioaktive isotop krypton-81 er med en halveringstid på 230.000 år meget mere stabil end kulstof-14.

Krypton-81 dannes ved reaktioner i atmosfæren, når denne bombarderes med kosmiske stråler. Små luftbobler fanget i isen fungerer

som et arkiv over atmosfæren gennem tiden, og ved at måle indholdet af krypton i isprøver fra borekerner kan alderen derfor bestemmes.

Krypton-datering har været kendt som metode i mange år, men antallet af krypton-atomer er så få og vanskelige at tælle, at det først er for ganske nyligt, at detektorerne er blevet gode nok til, at metoden kan anvendes bredt af forskere indenfor geovidenskaberne. De nye resultater er opnået med en "atomtæller" (kaldet ATTA) ved Argonne National Laboratory ved Chicago, USA. Dette apparat er så følsomt, at det som det eneste i verden kan fange og tælle enkelte atomer af krypton. For at få krypton-atomer nok til dateringerne, har forskerne smeltet isprøver på omkring 300 kg fra Taylor-gletsjeren i Antarktis, der som nævnt gav en alder på 120.000 år for de fire prøver.

Jagten går nu ind på endnu ældre is end den hidtidige rekord på omkring 800.000 år, da det vil kunne afsløre detaljer om klimaet i den klimatiske set spændende periode, der gik forud. Igennem de seneste 800.000 er jorden gået

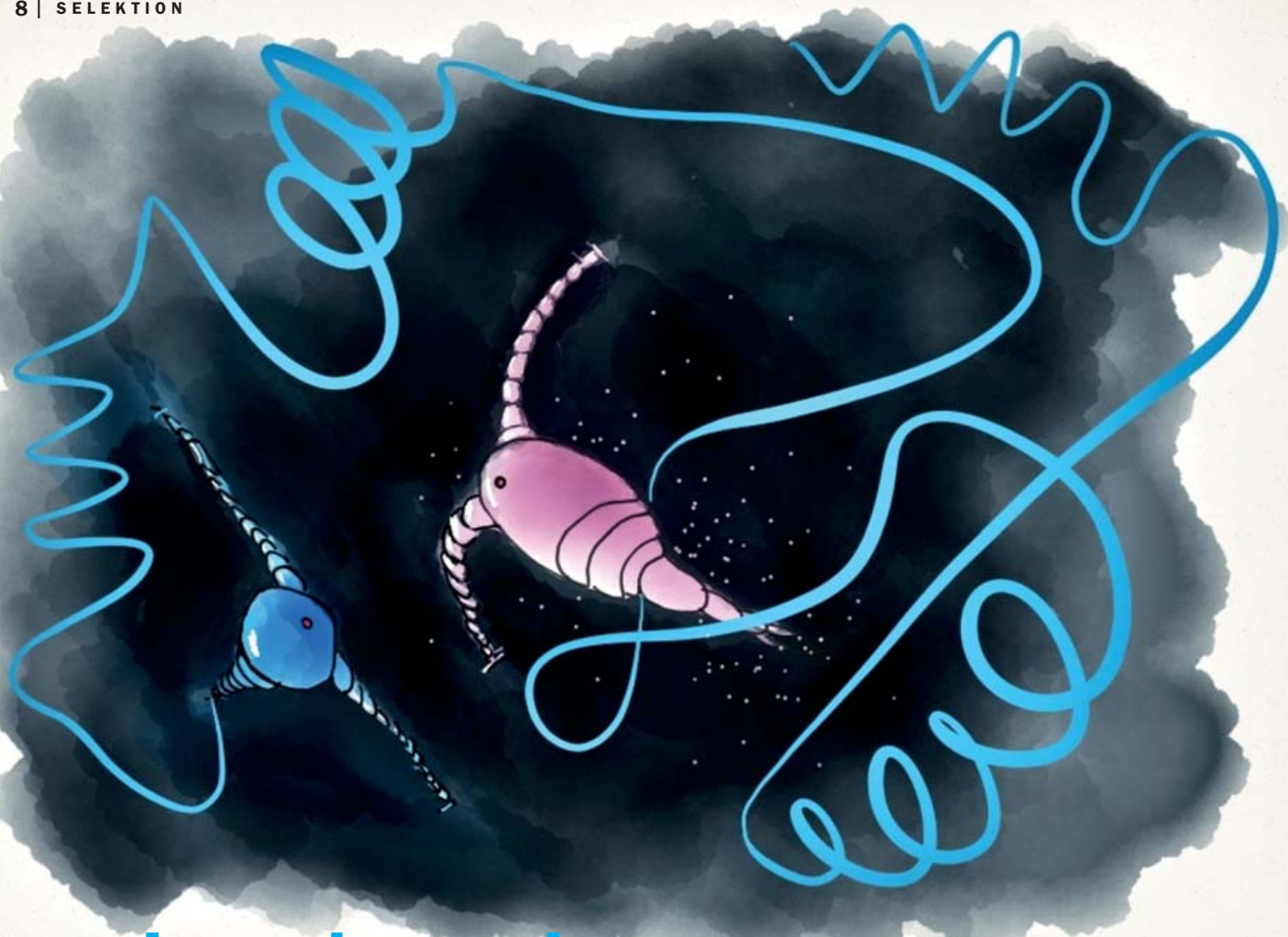


Foto: Heinrich Schaefer

En glacialog i færd med at indsamle prøver på Taylor-gletsjeren i Antarktis.

ud og ind af istider med intervaller på ca. 100.000 år. Der findes indicier på, at disse skift forløb med intervaller på kun 40.000 år forud for dette tidsrum, og derfor er forskerne meget interesseret i at kunne lave mere nøjagtige rekonstruktioner af klimaet længere tilbage i tiden.

CRK, Kilde: *PNAS*, doi: 10.1073/pnas.1320329111



Vandloppernes parringsdans.
Illustreret af Jan Heuschele

Lækre lopper scorer bedst

Forfatterne



Thomas Kjørboe er professor og centerleder
tk@aqu.dtu.dk



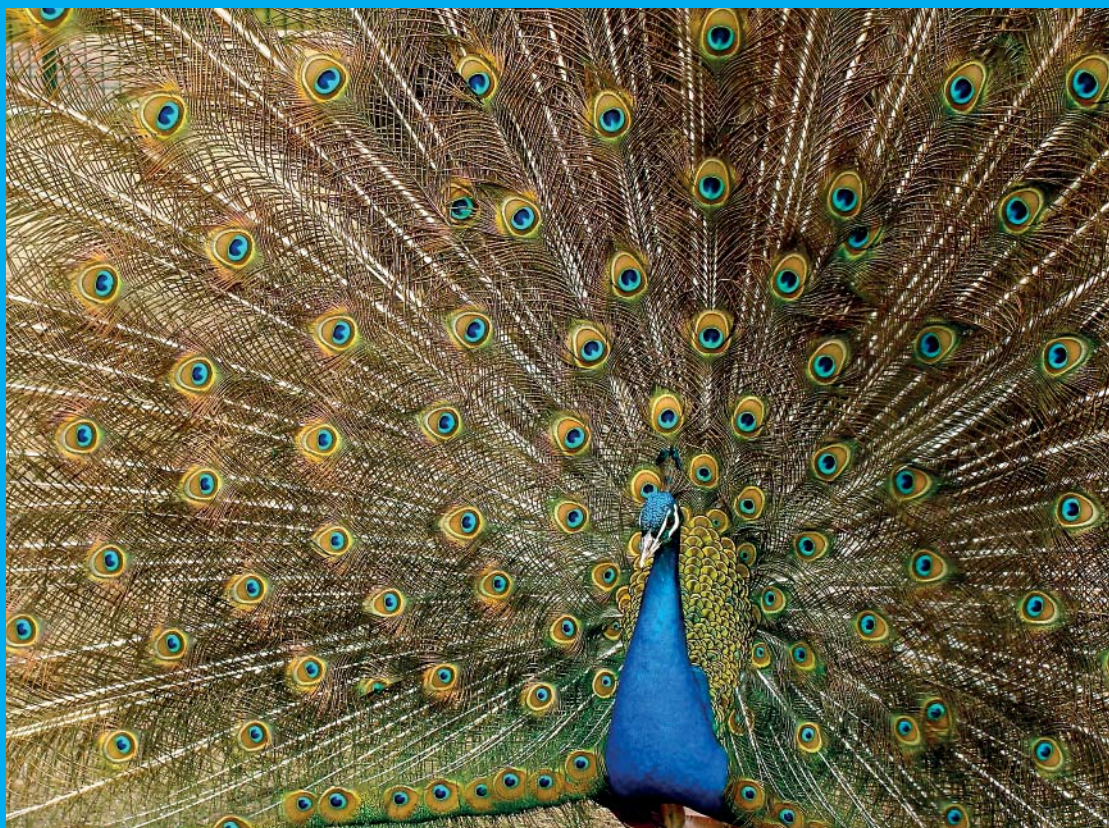
Mie Hylstoft Sichelau er ph.d.-studerende.
mhsl@aqua.dtu.dk

Begge ved Centre for Ocean Life, DTU Aqua

Betydningen af seksuel selektion for mikroskopisk dyreplankton har hidtil været upåagtet. Men seksuel selektion kan være så kraftig, at en meget stor del af planktondyrene forbliver ubefrugtede og således ikke bidrager til produktionen af fiskeføde i havet.

Jeg ved ikke, hvad spørgsmålet er, men svar er sex», skal Woody Allen en gang have sagt. Accepten af Woody Allens erkendelse er af nyere dato. Da Darwin fremsatte sin idé om seksuel selektion, nemlig at evolutionen kan drives af *hunnernes* valg af attraktive han-partnere, blev den ikke vel modtaget i Victoria-tidens bornerte England. Mens Darwins teori om den naturlige selektion (*survival of the fittest*) umiddelbart blev accepteret, argumenterede Wallace og andre samtidig imod ideen om seksuel selektion, og med tiden døde debatten ud, og emnet lå stort set urørt i 100 år, bortset fra enkelte arbejder af matematikeren Fischer og få andre.

De seneste 30-40 år har teorien om seksuel selektion imidlertid oplevet en renæssance med en eksplosion i forskningsaktiviteter til følge. I 1970'erne "genopdagede" evolutionsbiologerne Trivers, Maynard Smith og andre fænomenet, og det har lige siden været et *hot topic* i evolutionsbiologien. Ifølge *Web of Science* er antallet af videnskabelige artikler om seksuel selektion siden 1970 vokset eksponentielt og en halv gang hurtigere end artikler om evolution. Studier af landdyr, hvor parringsadfærd og andre dele af seksualbiologien er iøjnefaldende og lette at studere, har vist, at seksuel selektion er lige så vigtig som naturlig selektion for evolutionen, og at seksuel selektion har stor betydning for arternes bestanddynamik.



Påfuglens svulstige halefjer er om noget ikonet på seksuel selektion. I de fleste andre sammenhænge end netop at imponere hunnen med, må den enorme hale anses for at være en ulempe for fuglen.

Foto fra Wikimedia Commons

Seksuel selektion

De fleste organismer vælger sex-partner, og nogle individer vælges således fra. *Seksuel selektion* blev af Darwin anset for lige så vigtig en drivkraft for evolutionen som *naturlig selektion*, altså at det er de bedst egnede, der overlever. Seksuel selektion er forklaringen på, at nogle arter udvikler ekstravagante karaktertræk, der i mange tilfælde kan være uhensigtsmæssige, ja ligefrem forringe individets overlevelseschance. Oftest er det hannerne, der udvikler ekstreme karaktertræk for at lokke hunnerne til, mens hunnen er det kræse individ. Grunden er, at hannerne kan højne deres fitness alene ved at parre sig med så mange hunner som muligt, idet sæd typisk kan produceres i store mængder og

ofte er en ubegrænset ressource. Hunnen investerer derimod ofte en større andel i afkommet, idet æg er mere energikrævende at producere, og fordi hunnen ofte er forhindret i at producere nyt afkom i en efterfølgende periode fx pga. yngelpleje. Hvis omkostningerne ved en parring er høj for både hanner og hunner, og hvis der er stor forskel på "kvaliteten" af individer, bliver begge køn selektive. Seksuel selektion kan manifestere sig på mange andre måder end ved åbenlyst parringsvalg: Hannerne kan konkurrere om hunnerne ved at slå eller ved at fjerne hinandens sæd, og hunner kan i det skjulte vælge faderen til sit afkom ved at vælge blandt de sædceller, hun har fået fra parring med mange hanner.

Kampen om at blive valgt

Seksuel selektion er ført i marken som forklaring på så forskellige fænomener som udviklingen af den store menneskelige hjerne og påfuglens iøjnefaldende hale (ikonet for seksuel selektion). Påfuglens hale er i øvrigt et eksempel på, at seksuel selektion ikke nødvendigvis bidrager til individernes overlevelse og bestandenes trivsel, tværtimod! Faktisk kan seksuel selektion i princippet føre til evolutionært selvmord og andre uhensigtsmæssigheder, hvilket allerede Darwin indså.

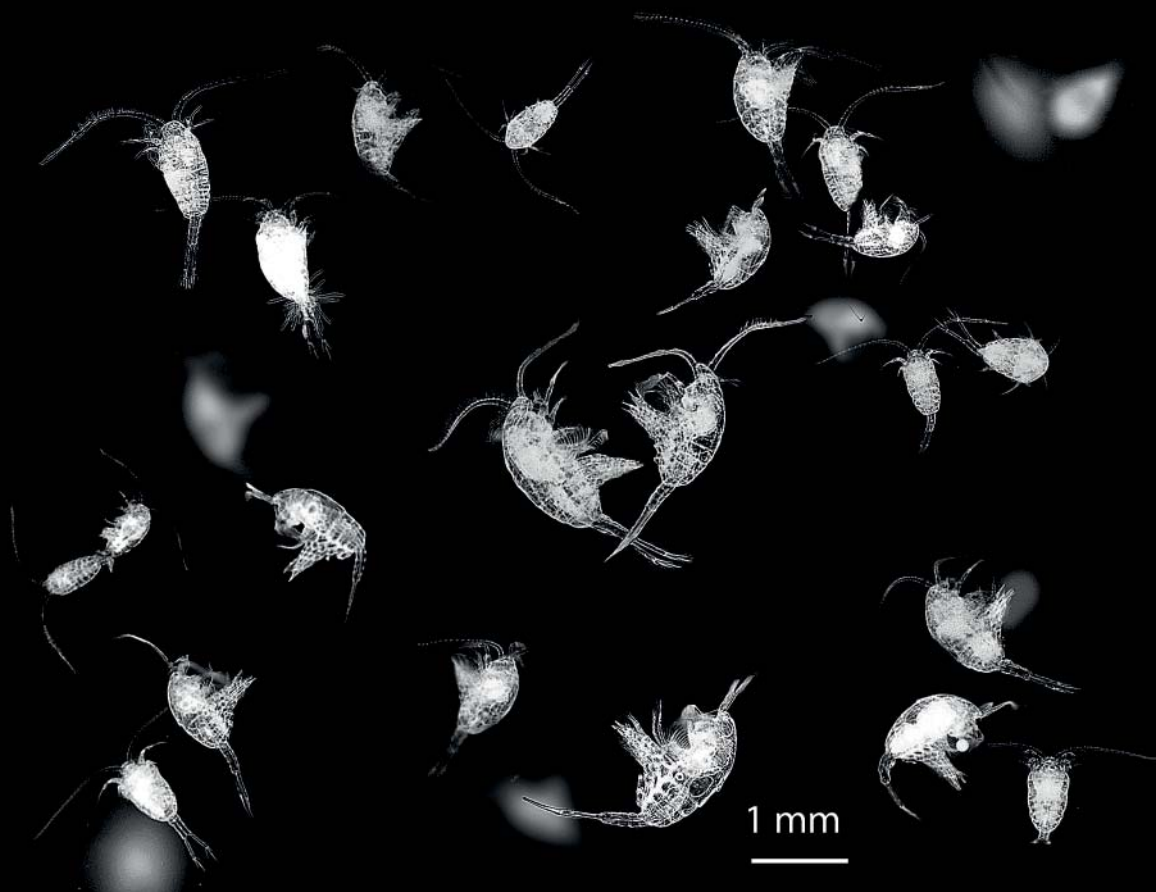
I betragtning af, hvor megen emotionel energi vores egen art, *homo sapiens*, bruger på sex og på at

vælge og blive udvalgt, kan man næppe overvurdere betydningen af seksuel selektion, både for vores arts udvikling og for samfundenes organisering, alt sammen vidunderligt beskrevet i evolutionspsykologen Geoffrey Millers *The mating mind* fra 2001.

Men i en skjult verden under havets overflade, blandt mikroskopisk dyreplankton, udspiller sig en lignende kamp – ikke kun for at overleve, men også om at blive udvalgt. Der er i og for sig ikke noget overraskende i, at seksuel selektion spiller en stor rolle også for dyreplanktons evolution og produktion, men betydningen har ikke været erkendt før for nylig. Det gængse synspunkt har været, at da små,

Superhunnen: I en gruppe på mere end 20 vandloppenhunner er der kun én, der er forsynet med en buket af sædsække på bagkroppen – resten har ingen. Hver sædsæk repræsenterer en parring.

Fotos: Jan Heuschele og Mie Hylstoft-Sichlau.



blinde planktondyr lever i en stor 3-dimensionel verden, hvor afstanden til nærmeste mage er kolossal, kan hverken hanner eller hunner tillade sig at være kræsne, når de tilfældigt – og sjældent – mødes: De må derfor parre sig med den første den bedste.

Vandlopper vælger store, unge partnere

Vi har i de seneste år studeret de mest almindelige planktondyr i havet, vandlopper, og vi har fundet, at seksuel selektion er lige så vigtig for evolutionen af plankton som for andre organismer. Det har vist sig, at hanner og hunner kan finde hinanden ved hjælp af kemiske og hydrodynamiske signaler selv over store afstande, og at kønnene mødes meget oftere, end de kan parre sig. Det betyder, at både hannen og hunnen kan tillade sig at være selektive. Ved hjælp af video-mikroskoper har vi observeret, hvordan hanner af arten *Pseudocalanus* kan opføre en langvarig og spektakulær parringsdans rundt om en hun, inden han eventuelt accepteres, og vi har delvist tydet det "sprog", som de blinde dyr bru-

ger til at imponere hinanden med. Hunnen omgiver sig med en sky af sex-duftstoffer, som dels viser hannen vej til hunnen, og dels ægger ham til dans. Og den dansende han skaber vibrationer i vandet, som opfanges af hunnen. Vores undersøgelser viser, at både hanner og hunner er kræsne: De parrer sig ikke med den første den bedste, men vælger især store, unge partnere. Det er der fordele ved for det enkelte individ: Store hunner producerer flere æg og vælges derfor af hanner, og store hanner afleverer en større portion sæd til hunnen ved parring. Da sæd ikke, som ellers i dyreverdenen, er en ubegrænset ressource blandt vandlopper, og da den ofte langvarige parring udsætter de involverede parter for fare for at blive ædt, er det en fordel at vælge hanner med stor leveringsdygtighed.

Superdyr fører bestanden videre

Ligesom hos *Homo sapiens* er både hanner og hunner af vandlopper altså selektive; hos de fleste dyrearter er det især hunnerne, der er selektive. I laborato-

rie-populationer har vi vist, at det er en mindre del af hunnerne, der får de fleste parringer og producerer langt den største del af afkommet. Og ved hjælp af molekylære metoder har vi lavet fadderskabssager, der viser, at det er et fåtal af hannerne, der er fædre til langt det meste afkom. Det er således "superhanner" og "superhunner", der især scorer og bidrager til bestandens videreførelse, mens en stor del af bestanden simpelthen er valgt fra af det modsatte køn. I et nyligt studium i Nordsøen har vi således fundet, at op mod halvdelen af hunnerne i en bestand ikke producerer afkom. De er ikke begrænset af mængden af føde, men ifølge vores laboratorieforsøg er de valgt fra. Den seksuelle selektion er ubarmhjertig!

Seksuel selektion leder til spild

Har dette andet end akademisk interesse? Ja, måske! Vandlopper er den foretrukne føde for fiskelarver, både i havet og i akvakultur-anlæg. I akvakulturindustrien forsøger man at optimere produktionen af vandlopper som startfoder til fiskelarver, og ét af problemerne her er simpelthen plads. Vores resultater viser, at man må arbejde med metoder til at fjerne de uproduktive individer for at øge effektiviteten i disse kulturer.

I havet er rekrutteringen til fx torskebestandene i Nordsøen grundlaget for et af vores vigtigste fiskerier, reguleret af mængden af dyreplankton. Traditionelt beskrives produktionen af dyreplankton som overvejende styret af mængden af planteplankton,



Foto Erik Selander

Videre læsning:

Kjørboe T, Bagøien E, Thygesen UH (2005). Blind dating – mate finding in planktonic copepods. II. The pheromone cloud of *Pseudocalanus elongatus*. Mar. Ecol. Prog. ser. 300: 117-128

Kjørboe T, Selander E, Heuschele J (2013) Havets dufte. Aktuell Naturvidenskab 3: 30-33

Ceballos S, Sichlau, MH, Heuschele J, Kjørboe T (2014) Low fertilization rates in a

pelagic copepod caused by sexual selection? Journal of Plankton Research, doi:10.1093/plankt/fbu021

Hylstoftes Sichlau, M. Sexual selection in marine plankton, ph.d.-afhandling, DTU, Marts, 2014.

vandlopperne føde. Men vores resultater viser, at sådan fungerer havet kun delvist. Seksuel selektion, styret af individernes selviske adfærd, leder til, at en stor del af individerne ikke bidrager til produktionen af nye generationer og dermed er en begrænsning for væksten af vandlopper. ■

Miller, G (2001). The mating mind. How Sexual Choice Shaped the Evolution of Human Nature. Anchor Books, NY

Inspirationsdag for gymnasielærere på Det Naturvidenskabelige Fakultet Syddansk Universitet Den 30. oktober 2014

Torsdag den 30. oktober afholdes der Science-dag på Syddansk Universitet i Odense, og vi vil gerne invitere dig og dine kolleger med til arrangementet. Dagen henvender sig til gymnasielærere i biotek, fysik, kemi, matematik og datalogi, og du kan møde vores forskere og få nye impulser og perspektiver på de naturvidenskabelige fag. Dagen vil både indeholde oplæg fra vores forskere og bud på forsøg, der kan bringes med hjem i undervisningen.

Science-dag 2014 afholdes i et samarbejde med LMFK (Matematiklærerforeningen, Fysiklærerforeningen og Kemilærerforeningen). Det betyder bl.a., at LMFK's årskursus er placeret dagen efter Science-dag på Syddansk Universitet den 31. oktober.

Tilmeldingen til Science-dag åbner den 1. september.

Sæt kryds i kalenderen



Modstands- dygtige fluer

Insekter kan hurtigt udvikle resistens overfor gifte, og derfor er det vigtigt at bruge insektmidler med omtanke. Den lære kan man drage af dette eksempel på udvikling af resistens i en population af stuefluer, hvor mekanismen er knyttet til kønnet, så kun hunnerne er resistente.

Forfattere:



Dorte H. Højland er postdoc;
dorte.hoejland@agrsci.dk



Karl-Martin Vagn Jensen er seniorforsker;
karl-martinv.jensen@agrsci.dk



Michael Kristensen er lektor;
michael.kristensen@agrsci.dk

Alle ved Institut for Agroøkologi, Flakkebjerg, Aarhus Universitet,

Stuefluen (*Musca domestica*) er for de fleste bare et irritationsmoment, men den kan også overføre sygdomsfremkaldende bakterier fra affald til menneskers og dyrs mad. Det gør stuefluen til potentielle smittespredere af alvorlige bakterier som salmonella og campylobacter. Til bekæmpelse af fluer benytter man bl.a. kemiske insektmidler. Men hvis man ikke passer på, kan fluerne udvikle resistens lige som man kender det fra bakterier, som kan modstå behandling med antibiotika.

Når man snakker om resistens i biologisk sammenhæng, betyder det, at en population har en arvelig modstandskraft som følge af genetisk tilpasning. Tilpasningen skyldes et *selektionspres* som fx kan være, at populationen er udsat for kemisk bekæmpelse.

Når der opstår problemer med resistens overfor en insektgift, kan man opnå bedre effektivitet ved at benytte et insektmiddel med en anden virkningsmekanisme. Dog er det ikke altid muligt, fordi der måske ikke findes et velegnet middel med en anden virkningsmekanisme. I yderste konsekvens må dette udvikles, hvilket er en meget dyr og tidkrævende proces.

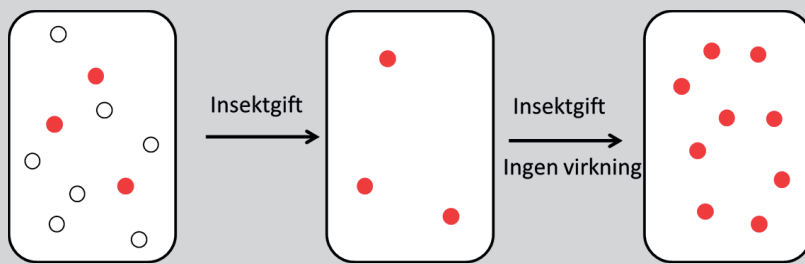
Stuefluen er en velegnet organisme til at studere resistensudvikling, da den har en kort generatid (ca. 2 uger) og et højt formeringspotentiale (500 æg pr. hun). Få individer kan derfor hurtigt blive til mange, hvis man ikke bekæmper dem.

Resistensmekanismer

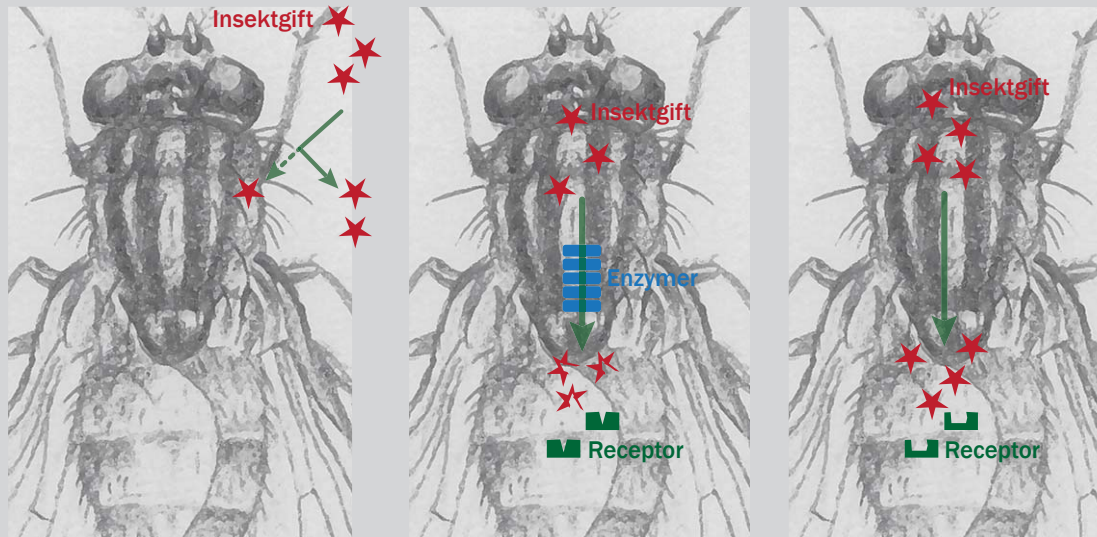
En insektgift skal overleve nogle trin, før det virker. Giften skal igennem fluens hårde overflade eller optages fra tarmen og nå frem til den rigtige receptor, inden den bliver nedbrudt af forskellige enzymer. En insektgift og en receptor skal passe sammen som en nøgle i en lås, før insektgiften virker.

En resistensmekanisme er, hvis det bliver sværere for giften at komme igennem den ydre skal (nedsat gennemtrængning). Så vil der være mindre gift inde i fluen, hvilket gør det nemmere for afgiftningens enzymer at nedbryde giften, inden den når sit mål. En anden mekanisme er, hvis mængden af nedbrydningsenzymer øges i fluen (metabolisme), så alt giften kan nedbrydes.

Sidst, men ikke mindst, er en tredje mekanisme, at der kan ske ændringer i den receptor, som insektgiften skal binde til og reagere med (target-site-resistens). En strukturel ændring i den receptor kan



Resistens spredt sig ved uhensigtsmæssig brug af insektgifte. Når en population af fluer udsættes for en insektgift, vil der muligvis være nogle overlevende resistente fluer (rød cirkel), hvorimod de følsomme fluer (hvid cirkel) vil dø. De resistente fluer formerer sig og man kan ikke længere bekæmpe dem med den pågældende insektgift.



1. Nedsat gennemtrængning

2. Metabolisme med emzymnedbrydning.

3. Ændring af receptor

Resistensmekanismer:
Resistens i fluer mod insektgifte kan skyldes at

- 1) giften ikke (eller kun langsomt) trænger gennem fluens ydre,
- 2) enzymnedbrydning af insektgiften eller
- 3) en ændring i receptoren, så insektgiften ikke længere kan binde til receptoren.

medføre, at låsen og nøglen ikke længere passer sammen, og insektgiften mister derved sin dødelige effekt. Flere af disse faktorer kan være involveret i resistens i den samme flue, men der vil ofte være én primær mekanisme. I forskellige fluepopulationer har man fundet eksempler på alle tre typer.

Måling af resistensniveau

For at få en idé om bekæmpelsespotentialet for en insektgift kan man teste resistensniveauet af fluer med den pågældende insektgift. Sådanne undersøgelser kan udføres på forskellige måder, alt efter om man ønsker at undersøge giftigheden, når en flue går på insektmidlet, får det ud over kroppen (som ved en spray) eller spiser det. Man udsætter fluerne for forskellige koncentrationer af insektgift, som sammenlignes med en gift-fri kontrol. Efter et bestemt antal timer tælles antallet af døde fluer. Jo stærkere koncentration af insektgift, fluerne kan tåle, jo mere resistente er de. På den måde kan man få et mål for resistensen, som kan sammenlignes mellem forskellige populationer af fluer.

Man har ved indsamlinger af fluer mange forskellige steder i Danmark fået en idé om, hvor der er problemer med kemisk bekæmpelse, og hvor der er sket ændringer siden sidste undersøgelse. Med

sådanne undersøgelser kan man holde øje med resistensudviklingen og komme med anbefalinger til at mindske selektionspresset – dvs. begrænse brugen af en given insektgift. Ved at holde selektionspresset på fluerne på et minimum kan man til en vis grad undgå resistensudvikling.

I en resistensundersøgelse i 1997 fandt man på en gård på Sjælland en population af fluer (kaldet 791a), hvor hunnerne var resistente overfor en relativt ny insektgift, Spinosad, mens hannerne var følsomme. Det var på trods af, at fluerne ikke havde været i kontakt med insektgiften før.

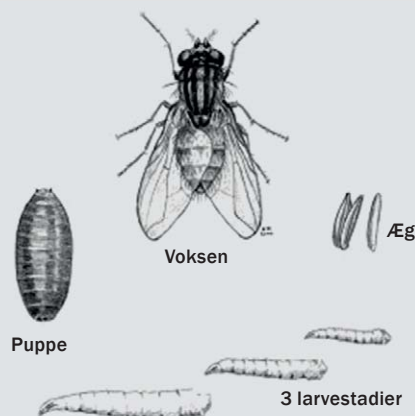
Vi gik i gang med at undersøge, hvad der ligger til grund for den kønsinddelte resistens, idet man ikke har set det i andre fluepopulationer. Første skridt var at kigge på, hvad der bestemmer kønnet i fluepopulationen. Det kunne tænkes, at kønsbestemmelse og resistensmekanismen er forbundet, hvilket ville vise sig i resistente hunner og følsomme hanner.

Fluer med M-faktor

For mennesker gælder det, at vi har 23 kromosompar, inklusiv ét kønskromosompar. Det vil sige, at mænd har XY og kvinder har XX som kønskromosompar. Fluer har kun 6 kromosompar, hvor

Stuefluens livscyklus

Fluer findes over hele verden, hvor de er tro følgesvende til mennesker. De fleste af de fluer man møder i huse, er stuefluer. Stuefluen er 8-9 mm lang, med et vingefang på ca. 13 mm. En hun-flue vil allerede som to dage gammel lede efter et passende sted at lægge sine æg, når hun er blevet befrugtet. Hun lægger flere portioner af æg (100 æg/portion) i frisk mødding eller gærende plantemateriale, og allerede efter 6-8 timer klækker æggene, og små blege larver kommer frem. På mindre end en uge vokser de bevægelige, hvide larver sig 10-12 mm store, og herefter forpupper de sig. De 5-6 mm lange brune, tøndeformede pupper er ubevægelige og kan ikke som larverne kravle til bedre betingelser – fx mere ilt eller en mere passende temperatur. Når fluerne er brudt ud af puppen, parrer de sig, og efter nogle få dage kan hun-fluen begynde at lægge æg. Gennemsnitslevetiden for de voksne fluer er om sommeren mindre end en uge, dog kan en vinter-flue leve mere end en måned. Hele udviklingen fra æg og til voksen flue tager en til to uger afhængig af temperatur og andre forhold i gødningen. I Danmark bekæmpes voksne fluer normalvis med ædegifte, som virker på deres nervesystem. Dog er god hygiejne samt håndtering af møddinger den



bedste måde at bekæmpe fluer på. Ved at sætte insektnet for vinduer og døre i sommermånederne, vil man kunne forhindre mange fluer i at komme ind i huset. Det kan især være relevant i huse, der ligger tæt på fx landbrug med husdyr eller rideskoler. I tilfælde af mødding kan man dække den med en presenning, hvilket er en meget effektiv metode til at forhindre flueudvikling. Presenningen forhindrer gødningsvarmen i at slippe væk, så temperaturen stiger i møddingen. Ved temperaturer over 45 °C dør fluelarver og pupper.

det ene er et kønskromosompar. Kønnen i stuefluer er bestemt af en han-faktor (M), som normalt sidder på Y-kromosomet, så han-fluer har XY og hun-fluer har XX som kønskromosompar. Når M-faktoren ikke er til stede, udvikles fluen som en hun. Mærkeligt nok kan M-faktoren i fluer også sidde på et af de andre kromosompar (I-V). Det betyder, at Y-kromosomet mister sin kønsbestemmende funktion og forsvinder ved selektion fra populationen. Der finder altså han-fluer rundt om i verden uden et Y-kromosom. Det medfører, at både hanner og hunner har XX som kromosompar, og hannerne har en M-faktor.

Hvis der er én M-faktor til stede bliver kønsforholdet ligeligt mellem hanner og hunner, idet halvdelen af afkommet vil få en M-faktor fra deres far. Ved at bibeholde en nogenlunde ligevægt mellem kønnene beskytter populationen sig bedst imod pludselige ændringer i miljøet, såsom insektgifte eller sygdomme. Der kan også være flere M-faktorer i hanner, og hvis det er tilfældet, er der også en hun-faktor (kaldet F^D) involveret for at opnå ligevægten. Denne faktor F^D er stærkere end tre M-faktorer, så i teorien kan en hun-flue have tre M-faktorer og én F^D -faktor. Men hvis fluen ikke har en F^D -faktor, vil én M-faktor være nok til at gøre fluen til en han. Det har vist sig, at placeringen af M-faktoren på kromosomet bl.a. afhænger af, hvor fluen lever. Der er en tendens til, at fluer, der lever omkring Ækvator har M-faktoren siddende på kromosom I-V, hvorimod fluer i det nordlige Europa, Japan og USA har M-faktoren på Y-kromosomet.



- | | aabys fluen |
|-----|------------------------------|
| I | Kurvede vinger |
| II | "Perler på en snor" antenner |
| III | Brun krop |
| IV | Gule øjne |
| V | Hakkede vinger |

- | | 791a |
|-----|-------------------|
| I | Lige vinger |
| II | Buskede antenner |
| III | Sort krop |
| IV | Røde øjne |
| V | Afgrænsede vinger |

Krydsningsforsøg

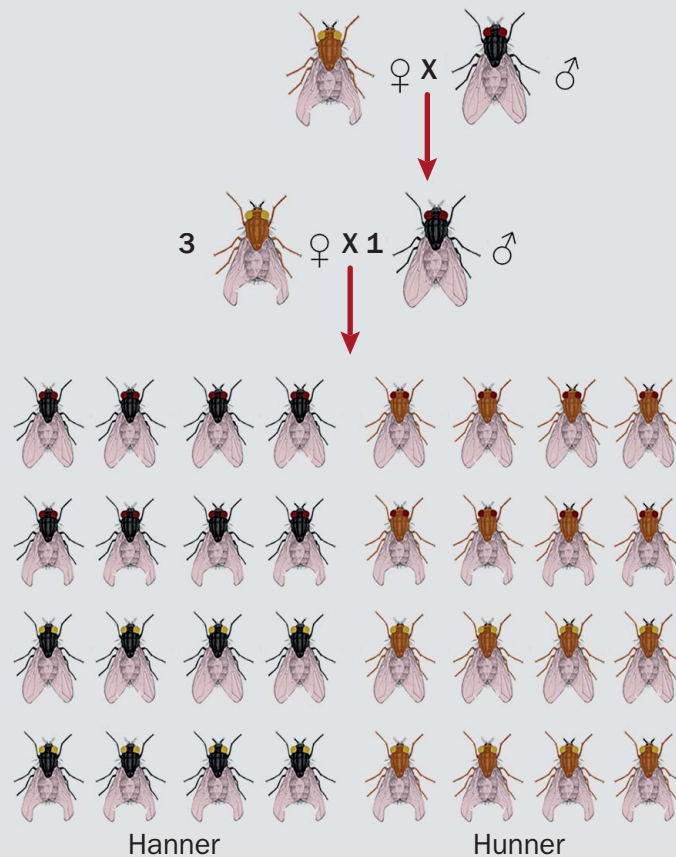
I vore undersøgelser har vi brugt en indavlet fluestamme kaldet aabys. Navnet stammer fra de fem kendetegn, fluen har, som er forbundet til hvert af de fem kromosompar (I-V). Det er kun kønskromosomparret, der ikke har et kendetegn forbundet til sig. Idet kendetegnene er recessive, kommer hvert enkelt kendetegn kun til udtryk, hvis et afkom arver det fra både far og mor.

Kønsbestemmelse: aabys fluen (tv) har et recessivt fænotypisk kendetegn på hver af de fem kromosomer, som adskiller sig fra vildtypefluen (th).

Ved at krydse aabys-stammen med fluer fra populationen 791a (hvor der var en kønsbestemt forskel

Krydsningsforsøg

Først krydses aabys-hunner med 791a-hanner (øverst). 25 hanner fra afkommet krydses dernæst med hver tre aabys-hunner til bestemmelse af placering af han-faktoren M i den danske 791a-fluestamme. Ved det kryds får man en udspaltning, som viser alle 32 mulige kombinationer af de fem kendetegn. Alle hunner efter det andet kryds (nederst th) har en brun krop, og alle hanner har en sort krop (nederst tv), så M faktoren sidder på kromosom III, som styrer kropsfarven.



på resistensen overfor sprøjtemidlet Spinosad) er det muligt at bestemme, hvor M-faktoren befinder sig. Lidt forenklet går disse forsøg ud på først at krydse aabys-hunner med 791a-hanner, som har såkaldte vildtype-kendetegn på alle kromosomer. Alt afkom vil af udseende ligne deres far (vildtype-kendetegn), men have en dominant vildtype-kopi og en recessiv aabys-kopi af hvert kromosom.

Næste trin er at krydse hannerne i afkommet med aabys-hunner. Det giver i teorien 32 forskellige kombinationer af de fem kendetegn ($2^5 = 32$). I det afkom kigger man på, om der er et af kendetegnene, som *kun* findes i enten hanner eller hunner. Hvis det er tilfældet, sidder M-faktoren på det kromosom. Hvis alle kendetegn findes i begge køn, sidder M-faktoren sandsynligvis på Y.

I vores forsøg havde alle hanner en sort krop og alle hunner en brun krop. Det betyder, at M-faktoren i 791a sidder på kromosom III, som styrer kropsfarven. Det er første gang, at man har opdaget danske fluer, hvor M-faktoren *ikke* sidder på Y kromosomet.

Når M-faktoren sidder på kromosom III, kunne vi udlede, at resistensmekanismen også sidder på kromosom III, idet det er her, kønnene er forskellige. Vi mener, at resistensen i 791a skyldes nedbrydning af insektgiften, så vi har bl.a. kigget på et bestemt nedbrydningsenzym, som også sidder på kromosom III. Vi kiggede på, om der

var forskel i genudtrykket af genet, som koder for nedbrydningsenzymet. Her var der en forskel på genudtrykket mellem hanner og hunner, men desværre har vi ikke med sikkerhed fundet det ansvarlige enzym endnu, idet der skal flere undersøgelser til, for at det endegyldigt kan bevises.

Gift skal bruges med omtanke

Vore undersøgelser med 791a-fluer viser, hvor hurtigt en population af fluer kan tilpasse sig til fx at kunne modstå insektmidler. Det kan dog være omkostningsfuldt for fluer at bibeholde resistensen, så hvis man fjerner selektionspresset (dvs. holder op med at bruge insektmidlet) vil fluerne måske blive følsomme overfor insektmidlet igen, fordi det er en fordel for fluen ikke at bruge energi på at bekæmpe en trussel, som ikke er der. Man kan altså sige, at selektionspresset kan virke "begge veje", og det er derved i princippet muligt at fjerne resistensen fra en population af fluer igen. Men det kræver selvfølgelig, at der stadig er følsomme fluer i populationen.

Vore undersøgelser understreger også det faktum, at det ikke er muligt at udvikle nye stoffer i samme hastighed, som insekterne udvikler resistens imod dem. Det er derfor nødvendigt at finde metoder, hvor man kan blive ved med at genbruge velkendte insektgifte. Det har også den fordel, at vi kender langtidsvirkningerne på mennesker, dyr og miljø, hvor langtidsvirkningerne af nye insektmidler er ukendte. ■

Videre læsning:

Højland D.H., Scott J.G., Jensen K-M.V., Kristensen M.(2013). Autosomal male determination in a spinosad resistant house fly strain from Denmark. *Pest Manag Sci*. DOI: 10.1002/ps.3655

Højland D.H., Jensen K-M.V., Kristensen M.(2014). Adaptation of *Musca domestica* L. field population to laboratory breeding causes transcriptional alterations. *PLOS ONE*. DOI: 10.1371/journal.pone.0085965

Mourier H.(1995). Husets dyreliv. Gads Forlag. ISBN: 87-12-02424-4

Retningslinjer for flue-bekæmpelse i beboelse. www.dpi.dk/dpi/2005/html/stueflueribeboelse.htm

På vej mod det fossilfrie Danmark

I år 2035 skal al energien til el og opvarmning i Danmark komme fra vedvarende energikilder. Der tegner sig nu en realistisk model for, hvordan dette kan lade sig gøre.

Forfatterne



Benjamin Biegel er ph.d.-studerende ved Institut for Elektroniske Systemer, Aalborg Universitet
benjamin@biegel.nu



Carsten R. Kjaer
Aktuel Naturvidenskab
crk@aktuelnaturvidenskab.dk

I hele december måned 2013 dækkede vindenergi mere end 50 % af det samlede danske elforbrug. Udover at være verdensrekord er det også en antydning af, at det er realistisk for Danmark at opnå de klimamål, der skal frigøre Danmark fra fossile brændstoffer og basere energiforsyningen 100 % på vedvarende energikilder i 2050. Det første delmål er i 2020, hvor planen er, at vindenergi skal dække 50 % af elforbruget. For hele året 2013 var resultatet, at vindenergi dækkede 33 % af elforbruget i Danmark, så der er altså stadig et stykke vej til dette delmål. Det understreger den grundlæggende udfordring, at en elforsyning, der i høj grad er baseret på vindenergi, populært sagt opfører sig – ja, som vinden blæser. Det drejer sig dermed ikke *kun* om at opstille et meget stort antal vindmøller. I lige så høj grad handler det om at få mange forskellige decentrale energiproducerende enheder til at spille sammen med alle de andre elementer, der udgør det samlede danske energisystem. Og det handler også om, at få de *energiforbrugende* enheder til at opføre sig “intelligent”.

Den danske model

Den populære betegnelse for et sådant intelligent energiforsynings-netværk er *Smart Grid*, som i høj grad er blevet et buzz word. Og det er et område, hvor vi i Danmark er helt i front på verdensplan – netop fordi vi i mange år har satset massivt på vind-

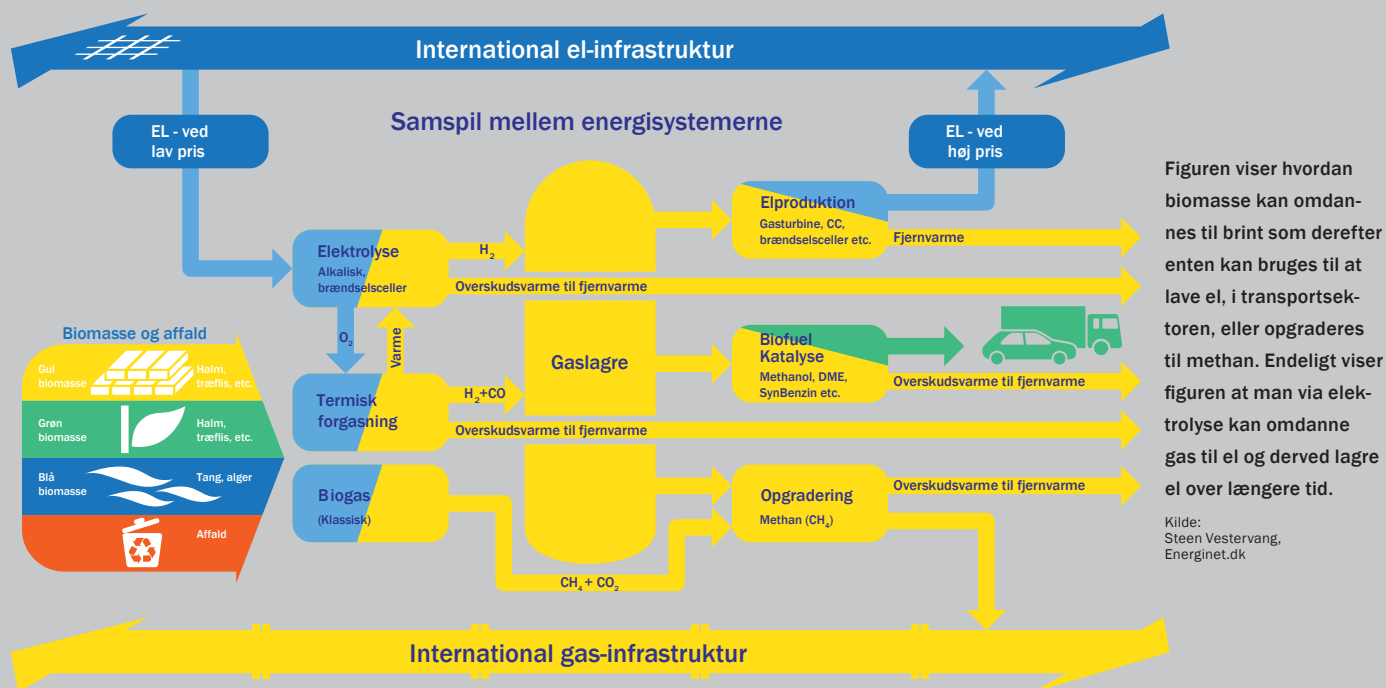
energi. Der tegner sig nu en realistisk model for, hvordan det danske elektricitetssystem kan være skruet sammen i 2035. Til den tid skal vedvarende energi efter planen dække 100 % af energiforbruget til elektricitet og opvarmning (i 2050 skal også transportsektoren baseres på vedvarende energi). Det er en model, som den ene af artiklens forfattere (Benjamin Biegel) har arbejdet med i sit ph.d.-projekt, og som han nu er draget på turne for at fortælle om på forskningsinstitutioner og private virksomheder verden over.

Helt overordnet går energiforsyning selvfølgelig ud på at balancere energiproduktion og energiforbrug, så man hele tiden har et stabilt system. Modellen for at opnå det i år 2035 indeholder fire hovedelementer: fleksibelt forbrug, varierende produktion af vindmøllestrøm, udvidede transmissionsforbindelser samt lagring af energi som gas.

Virtuelle kraftværker

I et konventionelt el-system med fx naturgas og kulfyrede kraftværker følger produktionen af el blot forbruget, da det er let at skruer op og ned for produktionen.

I et system, hvor der er meget vindenergi, vil det være ønskeligt i et vist omfang også at kunne styre forbruget, hvis man vil undgå at skulle dimensio-

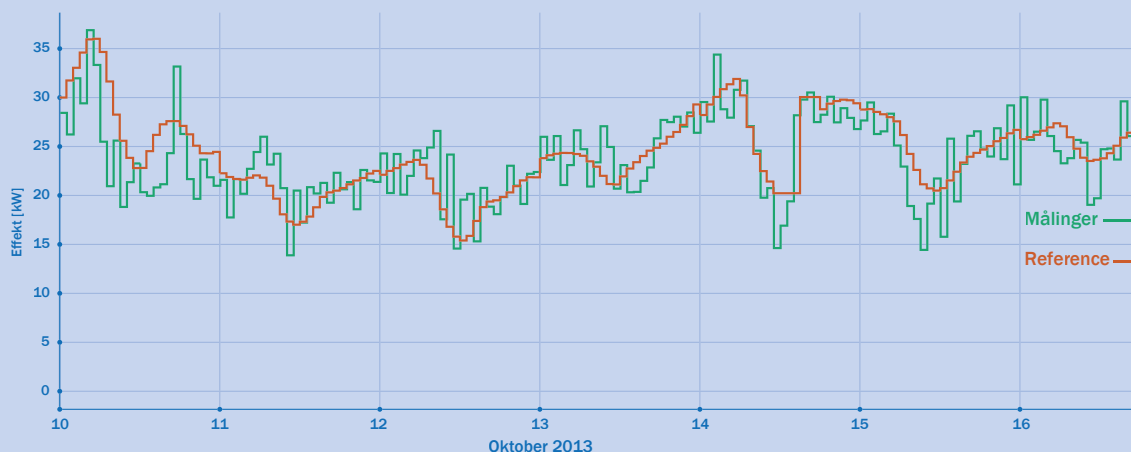
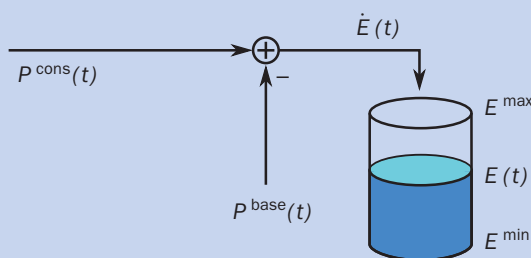


Optimeringsudfordringer

For systematisk at kunne udnytte forbrugsfleksibilitet i et elsystem er det nødvendigt med en fleksibilitetsmodel. I forsøget med fjernstyrede varmepumper kan man lave en model af huset for derved at beskrive den energi, man kan lagre i husets termiske masse. Energiniveauet beskrives med enheden E og vil sådan set svare til husets temperatur. For at huset er komfortabelt skal temperaturen holdes indenfor givne grænser (E_{min} og E_{max}), som beboeren selv kan indstille. Hvis varmepumpen ikke fjernstyres vil den have et givent baselineforbrug (p_{base}) for at opretholde indetemperaturen. Øges varmepumpens faktiske forbrug (p_{cons}) over dette baselineforbrug vil energiniveauet stige ($\dot{E}$ positiv). Tilsvarende vil energiniveauet falde, hvis varmepumpen bruger mindre effekt end baselineforbruget ($\dot{E}$ negativ). Det kan illustreres som på figuren med en spand med vand, som kan fyldes op eller tappes af. Hvis man forestiller sig, at man ønsker at styre 10.000 huse vil man så have 10.000 sådanne husmodeller med forskellige parametre. Algoritmen, som styrer disse varmepumper, skal altså kunne håndtere store mængder data, hvilket er en af de store udfordringer i smart grid.

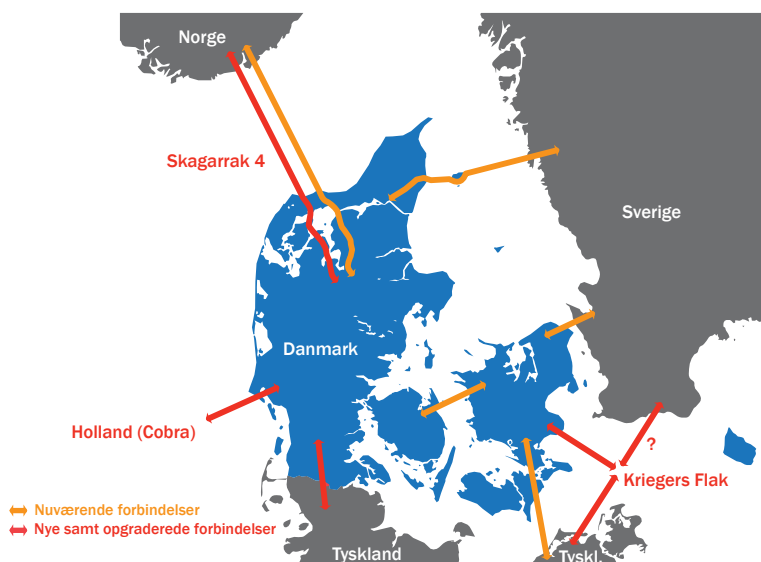


Varmepumper bliver mere og mere udbredte som hovedkilde til opvarmning af helårshuse. Her ses en luft-til-vand-varmepumpe fra firmaet Danfoss



Effekt-referencen som varmepumpernes samlede forbrug skulle følge sammenlignet med det målte forbrug.

Nuværende (gule) samt nye planlagte (røde) elforbindelser til udlandet. Disse store motorveje for el udgør sammen med de store højspændningsledninger på 132 til 400 kV transmissionsforbindelserne i elsystemet. Mølleparken på Kriegers Flak bliver tilsluttet nettet på Sjælland.



mere energi-systemet med en stor overkapacitet eller bruge andre dyre løsninger på at opnå balance. Styrring af elforbruget kan opnås ved at samle typer af fleksible el-forbrugere i større grupper og få dem til at opføre sig som en samlet enhed ved hjælp af intelligent kontrolteknologi. Et godt eksempel er varmepumper til husopvarmning. I et konkret forsøg med 54 varmepumper i private hjem har man vist, at man kan få disse til at opføre sig som et "virtuelt kraftværk". Varmepumperne blev udstyret med effekt-, flow- og temperaturmålere samt en fjernstyring, der kan tænde og slukke for varmepumperne. I forsøget blev varmepumperne styret, så de fulgte en effektreference til det samlede forbrug af de 54 varmepumper. Referencen blev lavet ved midnat for de næste 24 timer.

Forbrugerne oplevede ikke ulemper ved, at de populært sagt havde mistet kontrollen med deres

varmepumper. Og algoritmerne brugt til styringen kan let skaleres, så det er i princippet lige meget, om det er 54 eller 10.000 varmepumper, der bliver styret på denne måde.

Der findes mange kilder til denne form for fleksibilitet i elforbruget, som her er demonstreret ved hjælp af varmepumper. Andre muligheder er kølesystemer i supermarkeder, pumpeanlæg, industriprocesser, elbiler mm. Men det kræver dog, at enhederne er tilpassede, så de let kan tilgås – og det må ikke kræve, at der installeres en masse hardware på de enkelte enheder. I den forbindelse vil man fx kunne udnytte, at moderne termostater allerede i dag kan have indbygget "intelligens" og kommunikation, så man kan overvåge sit hus. Denne kommunikation og computerkraft kan vi altså få "gratis".

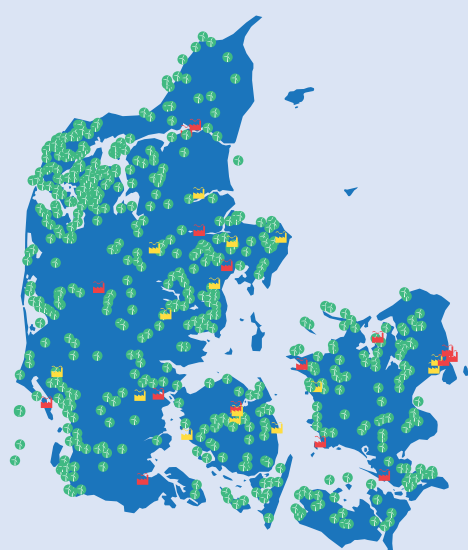
Skrue op og ned for vindmøllerne

Som nævnt kan et el-system med meget vindenergi ikke på produktionssiden skrue op efter behovet på samme måde som et konventionelt el-system. Men i et vist omfang kan man også godt regulere produktionen af vind og bruge det til at bringe balance i det fremtidige el-system. I dag tilstræbes det, at vindmøllerne hele tiden producerer så meget energi som muligt. I et fremtidigt system vil det dog give god mening, hvis man løbende skrue op og ned for vindproduktionen afhængig af det samlede systems krav. Allerede idag med en gennemsnitsværdi på 33 % vind i systemet ser vi situationer, hvor der er over 100 % vind, hvilket nogle gange også resulterer i negative elpriser. Eftersom mængden af vind skal øges over den kommende årrække må man forvente dette vil ske oftere. Derfor er det oplagt i fremtiden at bruge vindproduktionen som "systemstabiliserende" element. Det giver derfor god mening at arbejde på at finde de nødvendige tekniske løsninger samt at undersøge, hvordan vindmølle-støtteordningerne på en fordelagtig måde kan understøtte dette.

Reklamefremstød for dansk Smart Grid

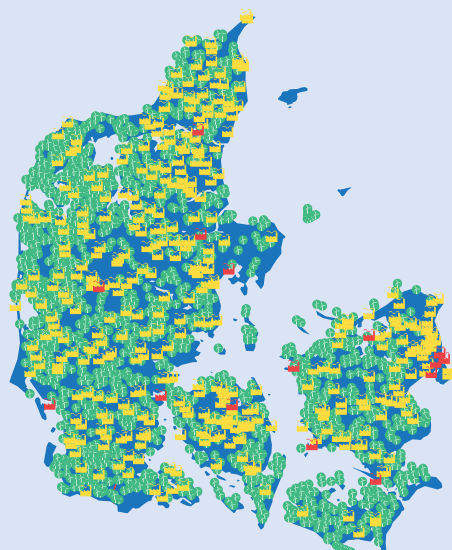
I skrivende stund er Benjamin Biegel taget på verdensturne for at fortælle om den danske energimodel hos forskningsinstitutioner og virksomheder i Europa, USA og Asien. Interessen for at høre om den danske energimodel i udlandet skyldes, at man også i andre lande har målsætninger om, at energiforsyningen i et vist omfang skal baseres på vedvarende energikilder. Den danske model for at integrere vedvarende energi i el-systemet kommer til at fremstå som et meget troværdigt bud på en løsning, da den i så høj grad er baseret på rigtige forsøgsresultater fremfor blot at være baseret på koncepter og simuleringer.

Initiativet til reklamefremstødet kommer fra Jakob Stoustrup, der for tiden har orlov fra sit professorat ved Institut for Elektroniske Systemer ved Aalborg Universitet for at lede en stor satsning på Smart Grid forskning i USA for virksomheden Batelle og det amerikanske energiministerium. Kampagnen er udover Aalborg Universitet støttet af den danske iPower-platform (en strategisk platform for samarbejde om Smart Grid teknologi mellem universiteter og virksomheder) samt en lang række private fonde.



1985

- Centrale kraft-varmeværker
- Decentrale kraft-varmeværker
- Vindmøller

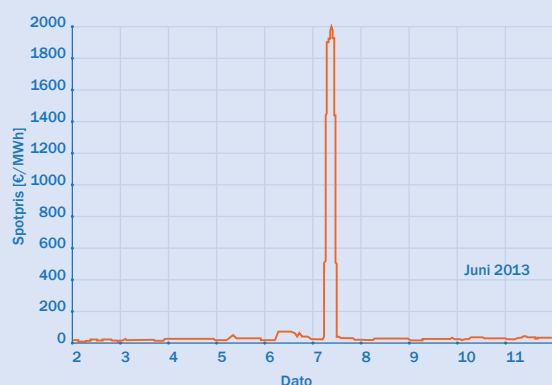


2014

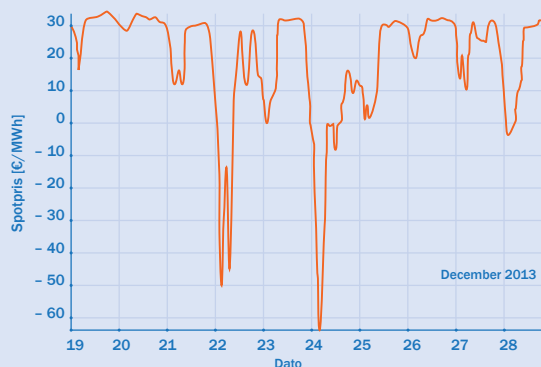
- Centrale kraft-varmeværker
- Decentrale kraft-varmeværker
- Vindmøller

Figuren viser udviklingen i det danske elektriske system fra 1985 til 2014. I 1985 stod 16 centrale kraftværker for langt størstedelen af elproduktionen. I dag er de 16 centrale kraftværker suppleret af mere end 600 lokale kraft/varmeværker og ca. 6.000 vindmøller.

Uforudsigelig vindenergi

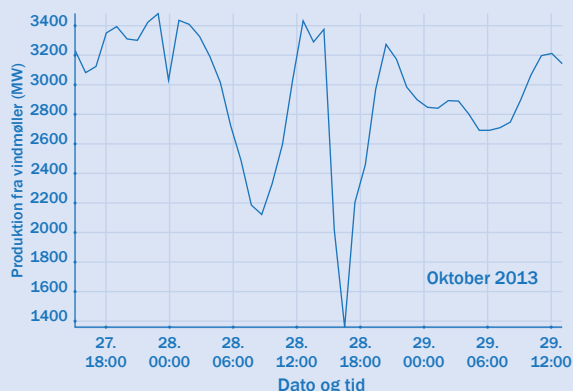


Figuren viser en af konsekvenserne af at have meget – og uforudsigelig – vindenergi i el-systemet, nemlig at prisen på el (de såkaldte spotpriser) kan variere meget og meget pludseligt. Den normale pris ligger omkring 30 euro/MWh, og figuren til venstre viser en situation fra juni 2013, hvor elprisen hoppede op til 2.000 euro/MWh pga. meget lav vindproduktion samtidig med, at der var meget lidt fri



kapacitet i transmissions-kablerne til vore nabolande. Omvendt droppede priserne kraftigt i juledagene, hvor et lavt strømforbrug pga. julen faldt sammen med en høj vindproduktion og stor produktion af el fra kraftvarmeværkerne, fordi vejret var koldt. Negative spotpriser betyder i realiteten, at producenterne af energi skal betale for at komme af med strømmen.

Endnu et eksempel på udfordringerne ved at integrere vindenergi i et el-system – produktionen af vind kan ændre sig meget pludseligt. Figuren viser vindproduktionen over 4 dage i oktober 2013, da oktober-stormen ramte Danmark, hvilket fik et stort antal vindmøller til at lukke ned. Resultatet var, at over et tidsrum på kun to timer faldt el-produktionen med mere end 2.000 MW (svarende til ca. 45 % af elforbruget).



Havvindmøller – her et foto af møllerne i vindmølleparken Rødsand 2

Foto: Colourbox



Forslag til videre læsning

Se hele Benjamin Biegels præsentation, som han rejser rundt i verden med: smartgriddenmark.com

Energistyrelsens energiscenarier for 2035 og 2050 (fra maj 2014). www.ens.dk/sites/ens.dk/files/undergrund-forsyning/el-naturgas-varmeforsyning/Energiscenarier/nyeste/energiscenarier_-_analyse_2014_web.pdf

Styring af varmepumper som virtuelt kraftværk ing.dk/artikel/saadan-bliver-smaa-varmepumper-til-et-stort-virtuelt-kraftvaerk-168161

Klima-, Energi- og Bygningsministeriets Smart-Grid strategi <http://www.kebmin.dk/sites/kebmin.dk/files/klima-energi-bygningspolitik/dansk-klima-energi-bygningspolitik/energiforsyning-effektivitet/smart/smart%20grid-strategi%20web%20opslag.pdf>

Dansk Energi og Energinet.dk's Smart Grid 2.0 rapport www.danishenergyassociation.com/Theme/SmartGrid2.aspx

Nyeng, P. (2007): Fremtidens intelligente elsystem: Aktuelt Naturvidenskab nr. 6. (Her kan man læse mere om elsystemets opbygning, om elpriser og om store strømafrydelser).

Rent teknisk har man demonstreret, at det i dag er muligt at ændre en vindmølleparks elproduktion med 5-minutters interval. I det fremtidige danske smart grid kan det måske være ønskeligt, at vindmøllerne kan levere endnu hurtigere ydelser – fx på sekund-niveau, hvilket vil kræve ny teknologi for kommunikation og styring af vindmøllerne.

Transmission og lagring

Fleksibelt elforbrug og op- og nedregulering af produktionen af vindmøllestrøm har nogle naturlige begrænsninger. Man kan således ikke udskyde et forbrug af el i flere dage, men typisk kun i et antal timer, og at justere på vindproduktion kræver i sagens natur, at det blæser. For at få det fossilfrie 2050-puslespil til at gå op, må der yderligere nogle investeringer til på den lange bane.

En del af løsningen går ud på at udnytte den grønne biomasse bedre. Ved at omdanne biomasse til brint (H_2) kan vi få mere energi ud af biomassen. Gas er en god kilde til at balancere el-systemet, da gas kan bruges i gasturbiner, som hurtigt kan op- og nedregulere produktionen og dermed hjælpe med at kompensere for selv meget hurtige fluktuationer i systemet.

Man kan også berige denne gas (H_2) til methan (CH_4), som kan gemmes i vores eksisterende naturgasinfrastruktur. Det gør, at vi kan gemme store mængder gas over længere tid og bruge den, når vi har brug for den – fx hvis vi har en hel uge uden vind. Den danske gasinfrastruktur (inklusiv gaslagre) er allerede betalt, og derfor er det meget attraktivt at udnytte det. Desuden er det interessant, at Energinet.dk, som er ansvarlig for systemstabilitet i det danske el-net, også ejer og driver gasnettet. Så det er oplagt at bruge denne synergi. Endelig kan man også udnytte gassen i transport-

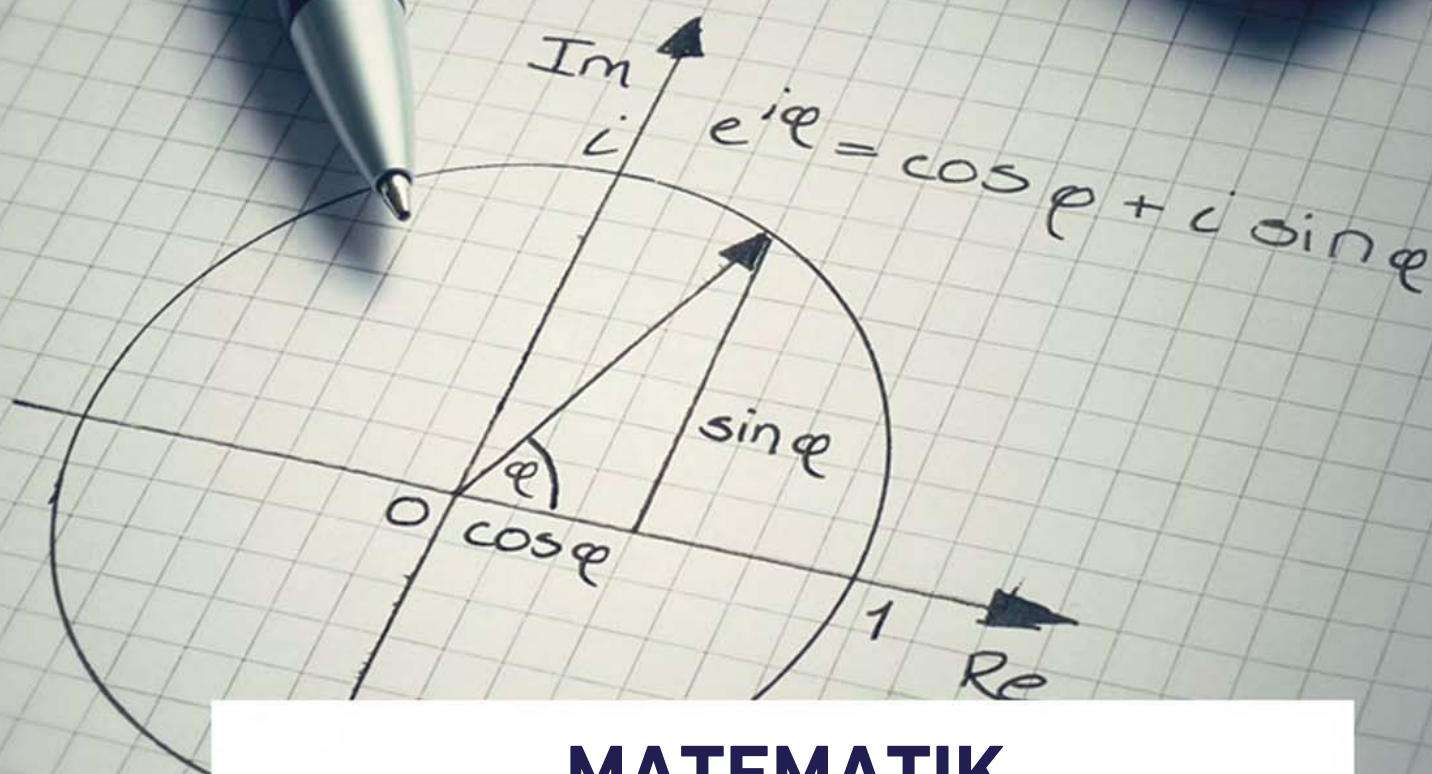
sektoren. Alt i alt er der mange måder at bruge biomasse meget bedre på end bare at brænde det af i et kraftvarmeverk.

Derudover er det også vigtigt, at der er en tilstrækkelig kapacitet (dvs. tilstrækkeligt store elkabler) til at kunne udveksle energi med vore nabolande. Vore nabolande har et anderledes energimix (fx en stor del vandkraft i Norge og Sverige), og energi udveksles derfor mellem landene, når der er overskud/underskud af el. En vindfront vil også ramme lande på forskellige tidspunkter, og her kan en tilstrækkelig transmissionskapacitet hjælpe med at sende vindstrømmen derhen, hvor der er mest brug for den. I Danmark er vi allerede i gang med at udvide transmissionsforbindelserne til udlandet, og flere forbindelser er planlagt.

Når kulkraftværkerne udfases

Det er væsentligt i denne sammenhæng at nævne, at det er besluttet at udfase de konventionelle kraftværker, der er baseret på fossile brændstoffer, så det sidste danske kulkraftværk skal være lukket ned i år 2030. Flere værker er allerede lukkede eller omdannet til biomasse-kraftværker. Udfordringen ved det er, at vi så ikke længere har disse store kraftværker til at kunne levere store mængder strøm, når der akut er brug for det. De nye biomasse-anlæg kan for så vidt godt være store værker, men de er dyre i drift, fordi biomasse er dyrt, og derfor vil de kun operere i "peak hours" (dvs. når der er stort elforbrug eller lav vindproduktion og derved høje elpriser). I de timer, hvor værkerne ikke er i drift, er der altså brug for alternativer til at stabilisere systemet. Derfor er det interessant i stedet at mobilisere forbruget og regulere vindproduktionen til at levere sådanne balanceydelser – sådan som det er beskrevet ovenfor. Og alt peger på, at det faktisk vil kunne lade sig gøre. ■

FLYT VERDEN FRA LIGNING TIL LØSNING



MATEMATIK

Matematik handler om at knække koden. Du lærer at bruge avancerede teorier og metoder for at kunne tænke systematisk og resultatorienteret. Du får rig mulighed for at tænke kreativt og løse alverdens problemstillinger i relation til teknologi, økonomi, sundhed og samfund. Du udregner verden.

WWW.FLYTVERDEN.DK



AALBORG UNIVERSITET
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN

Ion-batterier

- “The Next Generation”

Lithium-ion batterier er strømkilden, der har revolutioneret vores transportable elektronik. Familien af ion-batterier er imidlertid større end som så og har meget, meget mere at byde på.

Forfatterne



Martin Søndergaard er postdoc ved CMC, Aarhus Universitet
mars@chem.au.dk



Jacob Becker er center manager for CMC, Aarhus Universitet
jbecker@chem.au.dk



Yanbin Shen er ph.d.-studerende ved CMC, Aarhus Universitet
yanbin@inano.au.dk



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

Man skal tilbage til starten af 1990'erne for at støde på de første virkeligt “mobile” mobiltelefoner – der dog stadig var på størrelse med en lille mursten. Meget af størrelsen skyldtes batteriet, der tilhørte første generation af en helt ny teknologi: Lithium-ion-batterier (forkortet “Li-ion”). De efterfølgende år bød på voldsomme fremskridt, der primært har været investeret i at gøre batterierne små, hurtigere at oplade og med højere energi-indhold. Det er årsagen til, at Li-ion batterier i dag har spredt sig til alle slags lommeelektronik, bærbare computere, tablets, GPS-systemer, osv.

I senere år har der været længere mellem de teknologiske gennembrud indenfor gængse Li-ion-batterier. Det ser vi bl.a. i den triste omstændighed, at elbiler og hybridbiler stadig ikke har fået deres ventede gennembrud. Forskerne er derfor begyndt at se sig om efter nye måder at bruge hele ion-batteri-teknologien på. Det indebærer bl.a. at gå bort fra det snævre fokus på transportabel elektronik og i stedet se på batterierne som en mulig, integreret del af vores elforsyning, fx til opbevaring af elektricitet fra vedvarende energikilder. I dette scenario bliver størrelsen af batteriet uvigtig – batteristationer kan sagtens være store. I stedet er det væsentligt, at batteriernes kernematerialer er så billige som muligt, og de skal kunne op- og aflades ekstremt mange gange, så cellerne i batteristationen ikke skal udskiftes konstant.

Omdrejningspunktet for alle disse nye perspektiver er materialeforskning: Behovet for dybere viden om de faststof-materialer, der er fyldt i næsten alle ion-batterier og giver dem evnen til at holde på elektricitet.

Sådan virker et ion-batteri

Overordnet set er der tre bestanddele i et ion-batteri: Katode-materialet, anode-materialet og elektrolytten. “Katode” og “anode” for den positive hhv. negative pol i batteriet. Ionerne – fx lithium-ioner i et Li-ion-batteri – kommer fra elektrolytten, der normalt er en væske, som udfylder rummet imellem katode- og anodematerialet. Disse to materialer holdes desuden adskilt af en tynd membran, som ionerne vandrer igennem.

Strukturen af katode- og anode-materialerne er alle gennemtrængt af et netværk af meget små kanaler. De er mindre end 1 nanometer (nm) i diameter, dvs. 0,000001 mm og kan løbe både 1, 2 og 3-dimensionelt gennem materialet. Kanalstørrelsen passer netop til størrelsen af de ioner (fx Li-ioner), der kommer fra elektrolytten. Opladningen af et ion-batteri består i, at man med den eksterne (opladnings)strøm tvinger ioner til at diffundere ud af katoden over i elektrolytten og videre derfra over i anodens materiale, som infiltreres via netværket af ion-kanaler.

Processen er ikke spontan og kræver derfor tilførsel af energi. Energien “investeres” i at tvinge Li-ionerne ind i anodematerialet hen imod en slut-situation, hvor kanalerne er tæt pakkede og batteriet fuldt opladet. Diffusionen den anden vej, hvor ionerne vandrer ud af anode-materialet, tilbage gennem elektrolytten og over i katodematerialet, er derimod spontan. Den er derfor forbundet med frigivelse af energi, og det er denne proces, der langsomt finder sted i batteriet, når det bruges. Når alle ioner er vandret fra anoden tilbage til katoden er batteriet fladt – og klart til at blive genopladet.

Foto: Martin Søndergaard



Foto: Jesper Rals

Øverst tv: Et lille overblik over de "hardware" komponenter et almindeligt knap-celle ion-batteri består af ud over elektrolytten og selve batterimaterialerne. Denne type af batterier er meget udbredt (fås bl.a. i almindelige supermarkeder). Den er også nem at samle og derfor god at arbejde med i et laboratorium.

Stort foto: Et kig ind i en handskeboks, som er en kabine indeholdende en beskyttende atmosfære, der er helt fri for ilt og fugt. Flere af materialerne i ion-batterier er meget fugtfølsomme, så dette miljø er nødvendigt indtil de er

lukket til. Lukningen sker med krympe-pressen, der ses øverst i billedet. Nederst ses den måle-celle, CMC har udviklet til krystallografiske "live"-studier af ion-batterier under op- og afladning. Alt udstyret indeni boksen betjenes udefra igennem lange gummihandsker.

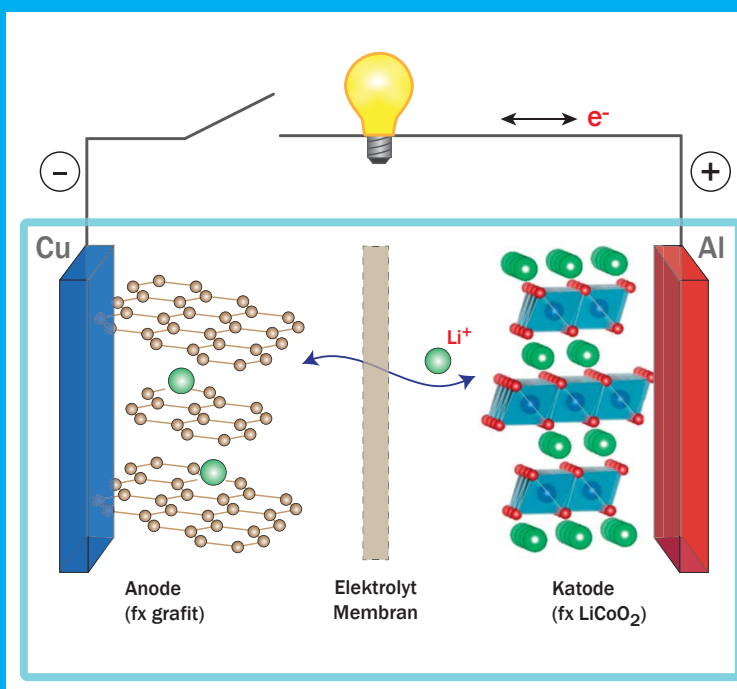
Nederst tv: Et nærmere kig på selve måle-cellen. Bagved ses en kuppel (lavet af grafit), der lukker cellen, så handskeboksens beskyttende atmosfære bevares inde.

Om Li-ion batterier

Ioner er atomer – eller grupper af atomer – med et overskud eller underskud af elektroner, så de får en negativ eller positiv ladning. Ioner findes i både faste stoffer og væsker. I en opløsning er ioner mobile, og når de bevæger sig, flytter de elektrisk ladning med sig rundt. Ioner leder altså strøm, ligesom elektroner gør det i en almindelig ledning. Det er denne elektriske mobilitet, der tilvejebringes af elektrolytten i et ion-batteri.

Li-ion batterier er baseret på ioner af grundstoffet lithium – som benævnes Li^+ . Natrium-ioner, der bruges i natrium-ion batterier (Na^+), har ligeledes en enkelt positiv ladning. Længere ude i fremtiden kommer vi muligvis også til at se ion-batterier baseret på fx magnesium (Mg^{2+}) eller aluminium (Al^{3+}), hvor hver ion bærer to hhv. tre elektriske ladninger.

→ Skematisk tegning af indretningen i et ion-batteri (her et Li-ion batteri). Lithium befinder sig hellere i katodematerialet (her LiCoO_2) end i grafit, så under afladning vandrer Li-ioner gennem elektrolytten og over i LiCoO_2 . Under opladning tvinges Li-ionerne tilbage i grafiten. Elektrolytten er ikke en god elektrisk leder. Elektronerne, der kompenserer den elektriske ladning, som ionerne fører med sig, tvinges derfor gennem det ydre kredsløb som en elektrisk strøm.



Materialeforskning og batterier

På Aarhus Universitet har materialeforskningen i ion-batterier siden 2010 været samlet indenfor *Center for Materialekrystallografi* (CMC efter centerets engelske navn), som er bevilliget af Danmarks Grundforskningsfond.

Omdrejningspunktet for CMC er sammenhængen mellem materials opførsel og deres grundlæggende struktur på det atomare plan. Forskningen fokuserer på, hvordan faste stoffers atomer er placeret i forhold til hinanden og på opførslen af de kemiske bindinger, der holder dem sammen. Det gælder også for batteri-materialer. De egenskaber, man her fokuserer på, er fx energi-indhold, opladnings- og afladningshastighed samt genopladelighed – dvs. det antal op/afladninger, batteriet kan klare, før det er dødt. Hvis et batteri er tilpas godt på blot nogle af disse kriterier, vil det – i den rette anvendelse – være ok, at resten ikke opfyldes ideelt.

Batteristruktur

De fleste faste stoffer er krystaller. Det vil sige, at atomerne sidder velordnet i et 3-dimensionelt gitter kaldet krystalgitteret (eller iongitteret). Gitteret udspændes af et grundlæggende mønster af atomer eller molekyler, som gentages i alle tre dimensioner.

Batterimaterialer har også krystalstrukturer, og denne struktur ændrer sig i takt med, at batteriet op- eller aflades. Fuldt opladt er anodematerialet tæt pakket med fx lithium-ioner, som der kun vil være få tilbage af, når batteriet er fladt. For en krystalstruktur er dette fundamentalt forskellige situationer. Ionernes tilstedeværelse er ikke bare passiv. Det er en af årsagerne til, at ion-batterier ikke kan genoplades uendeligt mange gange. De strukturelle ændringer fra opladning til afladning efterlader hver gang små defekter, som gradvist blokerer de kanaler, ionerne bruger til at diffundere ind i krystalgitteret. Tilsvarende har man også det problem, at elektrolytten kan reagere kemisk med batterimaterialerne og blokere indgangene til kanalerne. Resultatet er i begge tilfælde et dødt batteri.

Fremtidens batterimaterialer

Ved CMC har vi i samarbejde med den danske virksomhed Haldor Topsøe og med støtte fra Højteknologifonden fokus på begge ion-batteriernes elektrodematerialer. Her forsøger vi bl.a. at forbedre forståelsen og egenskaberne af eksisterende materialer, fx lithiumjernfosfat (LiFePO_4), lithium-manganoxid LiMn_2O_4 eller lithiumtitanat ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$). Vi har for nyligt udviklet en syntese af $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ i blot et enkelt trin. Normalt kræves der to af slagsen – en vådkemisk syntese efterfulgt af tørring og timelang opvarmning til ca. 600°C i en ovn. Den slags gennembrud er lige så væsentlige som udforskning af helt nye materialer.

Et andet projekt udvikler batterier baseret på nanopartikler af det keramiske materiale titaniumdioxid (TiO_2), som bl.a. bruges i solcreme og som pigment i hvid maling. TiO_2 er et meget lovende anode-materiale, der i forhold til state-of-the-art materialet grafit har større sikkerhed, samme kapacitet og pris og kan op- og aflades hurtigere. Desuden har TiO_2 gode lav-temperatur egenskaber, hvilket er en fordel, når batterierne skal bruges udendørs.

Parallelt hermed forsker vi også i batterier baseret på andre ioner, særligt natrium-ion-batterier, der bruger natrium-ioner (Na^+) i stedet for lithium-ioner (Li^+). Natrium er nabo til lithium i det periodiske system, og de to grundstoffer har mange kemiske egenskaber til fælles. Selv om Na-ion-batterier får svært ved at opnå lige så høj energitæthed som Li-ion batterier, kan de potentielt laves meget billigere, da natrium er mindre sjældent end lithium.

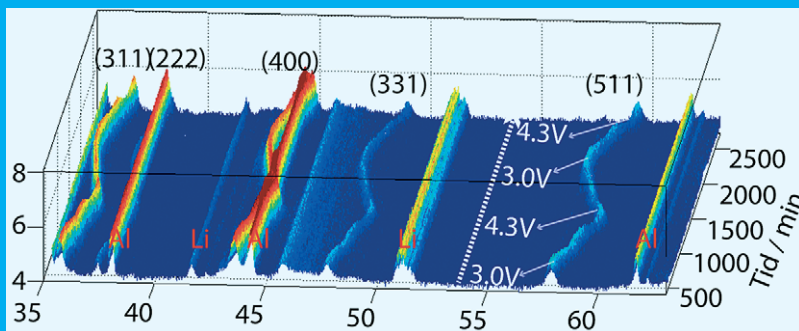
På jagt efter ioner

Et af kernepunkterne i vores forskning ligger i de strukturelle ændringer i batterimaterialerne under op- og afladning. Vores analyseværktøj kaldes krystallografi (oversat: "måling af krystaller"). Metoden favner bredt og rummer mange forskellige måleteknikker. Vi benytter os af den, som hedder pulverdiffraktion. Den er velegnet til batteriforskning, fordi batteriernes katode- og anodematerialer ikke er én ubrudt og sammenhængende krystalstruktur – de er krystallpulvere. Kigger man ind i et batteri, finder man således millioner af bittesmå individuelle krystalkorn.

Pulverdiffraktion producerer et entydigt "finger-aftryk" af et materials krystalstruktur. Det afsløres derfor omgående, hvis materialet ændrer struktur, fx som respons på opvarmning, mekanisk tryk eller kemiske forhold. Teknikken er desuden meget følsom overfor uregelmæssigheder i krystalgitteret. Dermed kan man studere fx urenheder, spændinger i gitteret samt størrelse og facon af krystall-kornene i prøven. Det er nyttigt, når man vil undersøge effekten af mobile ioner, der infiltrerer en stationær krystalstruktur.

Batteristrukturer i "live motion"

Ved CMC har vi for nyligt konstrueret udstyr til at kunne måle batterimaterialernes struktur "live" mens man foretager kontrollerede op- og afladninger og samtidigt måler batteriets elektriske karakteristika. Sådanne studier er i sig selv ret almindelige indenfor feltet. De fleste forskergrupper benytter sig imidlertid af pulverdiffraktion ved store, internationale målefaciliteter, som kræver "tidsbestilling" i skarp konkurrence med andre forskere indenfor feltet. Man får derfor også kun et nøje afmålt tidsrum at udføre



"Live" krystallografiske målinger med pulverdiffraktion samtidig med op- og afladning af et batteri med katodematerialet LiMn_2O_4 . Toppene er et fingeraftryk for krystalstrukturen. Bemærk, hvordan nogle flytter sig i takt med, at der lades op (til 4,3 V) og ned igen (til 3 V). Det afspejler, hvordan strukturen udvider sig. Ved 4,3 V er strukturen tømt for Li-ioner, hvilket medfører en sammentrækning ("afslapning") af krystalgitteret. Hvis krystalstrukturen ændrede sig fundamentalt, ville der dukke helt nye toppe op.

Kilde: Yanbin Shen



Ph.d.-studerende Yanbin Shen i færd med at montere den lukkede målecelle i CMC's "SmartLab" diffraktometer. Under målingerne sendes en kraftig røntgenstråle ind fra venstre, som gennemtrænger grafit-kuplen og spredes af batterimaterialet indeni målecellen. Til højre sidder der et røntgenkamera, som opfanger spredningsmønstret. Det er dette mønster, der bliver til et sæt pulverdiffraktionstoppe – som vist i figuren til venstre.

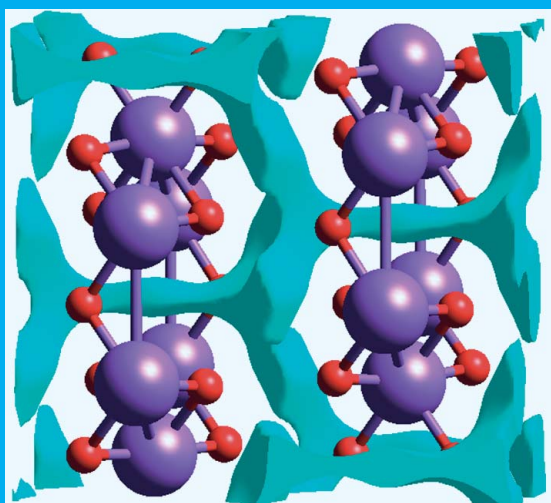
Foto: Jesper Rais

Kanalerne i lithium-ion-batterier

For at finde nye, gode batterimaterialer, kan man vælge forskellige strategier. Man kan gå empirisk til værks og slavisk fremstille materiale efter materiale og måle spænding, strøm, kapacitet osv. Det tager imidlertid lang tid, og der er høj risiko for skuffelser. Ved CMC benytter vi i stedet en computer. Centeret har i en årrække bidraget til udvikling af ny software, der tillader simulering af krystalstrukturer. Den giver mulighed for på forhånd at vurdere materialers potentiale som batterimaterialer.

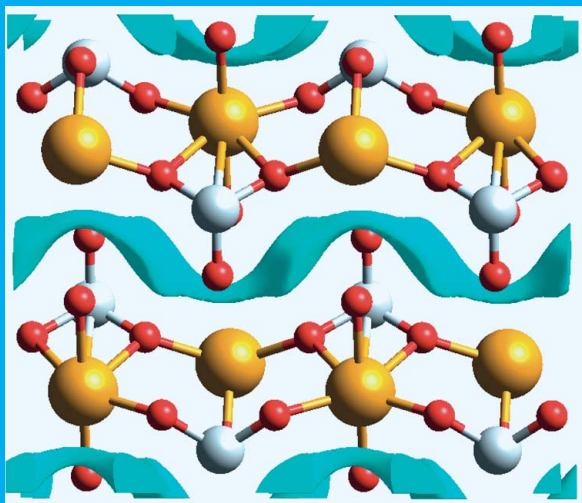
Idéen er enkel: Pga. elektroners indbyrdes frastødning vil Li-ioner fortrinsvis bevæge sig i områder, hvor tætheden af fremmede elektroner (fra nærliggende atomer) er lav. De mobile

ioner vil altså prøve at undgå de stationære atomer mest muligt. Softwaren tegner konturer af elektrontæthederne, der omgiver de stationære atomer, på samme måde som man indtegner højdekurver på et topologisk landkort. Ved hjælp af sådanne 3D-kontur-plots kan man anskue mulige diffusionsveje for Li-ionerne og afgøre, om strukturen giver "plads" til, at de vil kunne vandre ind og ud af krystalgitteret. Man kan også se, om det vil kunne foregå i en eller flere retninger/dimensioner. Det sidste er særligt vigtigt, da det giver et fingerpeg om, hvilken facon der kan være fordelagtig for de batterimaterialepartikler, man fremstiller. Hvis Li-ionerne fortrinsvis kan vandre i én retning, er der fx stor forskel på, om man laver kasseformede, nåleformede eller pladeformede partikler.



Strukturtegnning (udsnit) af anodematerialet Li_2TiO_3 med titanium vist i lilla og ilt i rød. Lithium-atomer er ikke vist, i stedet er ionernes migrations-kanaler tegnet ind i turkis. Der er her tale om 3-dimensionelle kanaler.

Grafik: Martin Søndergaard



Strukturtegnning (udsnit) af katodematerialet LiFePO_4 med jern vist i brun, fosfor i hvid og ilt i rød. Lithium-atomer er ikke vist, i stedet er ionernes migrations-kanaler tegnet ind i turkis. Der er her tale om 1-dimensionelle kanaler.

Grafik: Martin Søndergaard

Troels Christiansen i gang med at tilrettelægge op- og afladningsmålinger for en serie ionbatterier, der monteres med krokodillenæb på analysatoren i baggrunden. Bagest ses SmartLab diffraktometeret, der bruges til de krystallografiske strukturmålinger

Foto: Jesper Rais

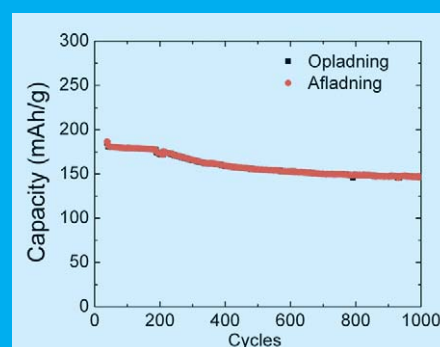


Måling af elektriske egenskaber

Der findes mange slags ion-batterier, og de kan hver især udmærke sig ved forskellige egenskaber. Det kan fx være sikkerhed, levetid, genopladelighed, pris samt energi- og effektivitet. Hvilke man er mest interesseret i, afhænger af hvad batteriet skal bruges til. For at kvantificere egenskaberne for et nyt batterimateriale er det nødvendigt at måle strøm og spænding over tid under gentagne op- og afladninger. Alle batteri-cellerne, vi måler på, indeholder et katodemateriale og et anodemateriale, men i målingerne vil ét af de to være et kendt reference-materiale. Hvis man målte to "ukendte" materialer samtidigt, kunne man ikke bagefter sige noget om deres individuelle egenskaber.

Under en måling kan man fx vælge at lade lithium-ionerne migrere ved konstant strømstyrke mens man måler spændingsforskellen. Det afslører bl.a., hvor let ionerne trænger ind i elektrodematerialet. Ændringer i materialets krystalstruktur viser sig bl.a. ved, at ændringer i spændingsforskellen brat standser. Det sker, fordi energien da pludselig "investeres" i selve strukturændringen i stedet for i opladningen. Man kan også vælge at benytte vekselstrøm og måle den elektriske modstand ved forskellige frekvenser – såkaldt impedans-spektroskopi. Det giver information om hvilke

processer i cellen, der bidrager til den totale modstand. Det kan være fx grænseflader i partiklerne, modstand i elektrolytten, rivaliserende diffusionsprocesser, osv.



Genopladeligheds-målinger på et batteri med anodematerialet $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$. "Cycles" er antallet af gentagne op- og afladninger for materialet. Dette holdes op imod materialets kapacitet – den mængde strøm, man kan trække ud af det pr. gram. Materialerne i de Li-ion batterier, der sidder i fx tablets og bærbare computere, har typisk en kapacitet på 150 mAh/g og er normalt anvendelige i 300-500 cykler, afhængigt af batteriets kvalitet. (Figur: Martin Søndergaard)

"Nano-batterier"

Nanoteknologi anvendes i stigende grad indenfor batteriforskning. Man har erkendt, at selv eksisterende batterimaterialer kan gøres væsentligt bedre, alene ved at fremstille materialerne som nanokrystaller. Nanostørrelse gør det nemmere for ioner at komme ind og ud af materialet, simpelthen fordi ion-kanalerne bliver kortere. Størrelsen øger også kontaktfladen med den omgivende elektrolyt, da nanopartikler har et stort overfladeareal i forhold til deres rumfang. Det medfører hurtigere op- og afladning af det færdige batteri.

Ved CMC har vi fx for nylig undersøgt anodematerialet lithium-titanat ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) i nano-perspektivet. Ved hjælp af

en pulseret superkritisk syntese (se *Aktuel Nat.* 2-2014) fik vi fremstillet $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ med en hel række forskellige partikelstørrelser i intervallet 2-20 nm. Samtidigt varierede vi den krystallinske orden i partiklerne; nogle var kun ca. 50 % ordnede, mens andre var 100 %, dvs. perfekte krystalgittere. Studiet viste, at kombinationen af 9 nm store partikler med 100 % krystallinitet gav batterier med hurtigere op- og afladning samt bedre genopladelighed. Større partikler gjorde Li-ion kanalerne "for lange", og mindre partikler fik hele krystalgitteret til at udvide sig, så kanalernes netværk mistede kontinuitet. CMC har siden fortsat indsatsen med et "live" studium af $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ faststof-syntese.

eksperimenterne i, hvilket betyder, at man arbejder under tidspres. For at nå mest muligt vælger mange at øge tempoet i studierne, dvs. "tvangsoplade" og -aflade de batterier, man studerer. Det kan imidlertid gå ud over kvaliteten, idet op- og afladning i virkelighedens praksis foregår i et roligere tempo.

Vores tilgang har været at tilpasse hele metoden til et kommercielt måleinstrument (pulverdiffraktometer) som står permanent i vores laboratorium i Aarhus. Det tillader os at vælge ethvert tempo passende for de studier, vi udfører. Tilgangen benyttes meget få steder i verden, da man skal råde over et virkeligt fremragende pulverdiffraktometer, som kan levere gode data selv med kort måletid. Måletiden er vigtig, idet eksperimenterne reelt konstruerer en "film", der viser udviklingen i materialerne over tid. Og som i enhver film, skal billedfrekvensen være hurtigere end det fænomen, filmen prøver at vise.

Et af de fænomener, vi undersøger, er udvikelse eller sammentrækning i batterimaterialers krystalgitter, når ionerne migrerer ind eller

ud (opladning hhv. afladning). Det er åbenlyst upraktisk for et batteri, hvis materialet indeni fx udvider sig til tredobbelt størrelse i opladningsprocessen.

De stationære atomer i materialet kan også bytte plads, eller helt nye strukturer kan opstå. Den slags fænomener kan hurtigt slå et batteri ihjel, fordi ion-kanalerne ødelægges. Det koster desuden en vis mængde energi at flytte rundt på atomare bindinger, som mistes i den overordnede ydelse, vi får glæde af. Generelt er man derfor interesseret i, at materialet ikke ændrer sig for meget. Netop af disse årsager er det vigtigt, at vi kan måle batteriernes elektriske karakteristika og ydeevne samtidig med pulverdiffraktions-målingerne. I fællesskab er dette den ideelle bevæbning til at forstå sammenhængen mellem strukturelle og elektriske processer indeni et fungerende ionbatteri – og hermed også den ideelle nøgle til at udklække den "næste generation" indenfor teknologien. ■

ANNOUNCE

Fysik og Teknologi-Camp d. 27.-28. september 2014

Gratis camp for gymnasieelever med interesse i akustik, optik og nanoteknologi

Deltagerne får inspiration til SRP, faglige oplæg og mulighed for at møde andre unge med samme interesse. De skal lave problemformuleringer, som de selv skal besvare – og så får de lov til at arbejde i universitetets laboratorier.

Campen har seks projektspor, som deltagerne kan melde sig på efter eget ønske:

- Jordskælvsikring af bygning
- Optisk datatransport
- Nanofabrikeret magnetfeltssensor
- Konstruktion af blæseinstrumenter
- Elektromagnetisk kanon
- Akustik i en multiarena.

Deltagelse inkluderer gratis mad, drikke og overnatning. Der er 30 pladser (efter først-til-mølle-princippet).

Campen finder sted på SDU i Odense og er arrangeret af studerende, som læser til civilingeniør i Fysik og Teknologi.



Oplægsholder fra CERN, forsøg i SDU's laboratorier, quiz og aftenhygge.

Læs mere om projekterne, programmet og tilmelding på www.sdu.dk/fysikogteknologi/camp

For yderligere information kontakt Randi Hærup Poser på rahp@tek.sdu.dk eller 6550 7326.

Danske fjorde lider under fortidens synder

Sedimentet på bunden af de danske fjorde indeholder store mængder organiske og mineralske partikler. Når det blæser hvirvles partiklerne let op i vandsøjlen og gør vandet uklart. Det er formentlig årsagen til, at 30 års vandmiljøindsats ikke har gjort vandet klarere i de danske fjorde.

Forfatterne:



Thomas Bruun
Valdemarsen er postdoc
valdemarsen@biology.sdu.dk



Erik Kristensen er lektor
ebk@biology.sdu.dk



Mogens Flindt er lektor
mrf@biology.sdu.dk



Cintia Quintana er
gæsteforsker
cintia@biology.sdu.dk

Alle ved Biologisk Institut,
Syddansk Universitet

På trods af næsten 30 års indsats for at genoprette vandmiljøet, er vandet i de fleste lavvandede danske fjorde stadig meget uklart. Det har undret forskerne, at der ikke er sket nogen synlig forbedring siden Danmark fik sin første vandmiljøplan i 1985 og siden markant har reduceret udledningen af næringsstoffer fra land. Reduktionen i tilførslen af næringsstoffer har bevirket, at der er blevet færre alger i vandet, som kan gøre vandet uklart, og derfor virker det underligt, at man ikke har kunnet konstatere en forbedring af vandets klarhed ved traditionelle målinger af sigtedybden. Vore undersøgelser på Biologisk Institut ved Syddansk Universitet viser, at forklaringen skal findes i, at der til gengæld er kommet flere sedimentpartikler i vandet. Og det problem kan vi ikke forvente bliver bedre de næste tiår.

Det uklare vand i fjordene forhindrer lys i at nå gennem vandsøjlen og ned til fjordbunden, så der kan vokse vandplanter som fx ålegræs. En fjord uden ålegræs eller andre bundplanter er et fattigt og sårbart miljø, fordi bundplanterne er grundlaget for velfungerende økosystemer.

Synderen: organiske partikler

Årsagen til de mange partikler i vandet finder vi i sedimentet på bunden af fjordene. Det indeholder nemlig store mængder organisk stof. Størstedelen af dette er et levn fra fortiden, dvs. det er opho-

bet i perioden før vandmiljøplanerne, hvor de høje udledninger af næringsstoffer fra land medførte store algeopblomstringer. Det organiske stof i fjordbunden består således af restprodukter fra døde mikroalger, som bakterier i fjordbunden har svært ved at omsætte. De høje koncentrationer af organisk stof gør, at fjordbunden får en mere porøs og vandholdig struktur og dermed nemmere eroderer, som følge af tidevandsstømme og vindbegivenheder (se figur 1). Det giver flere episoder, hvor organiske og uorganiske partikler på fjordbunden hvirvles op i vandsøjlen, og på den måde øges lysdæmpningen i vandsøjlen.

Meget langsom nedbrydning

Det overraskende er, at der stadig findes så meget organisk materiale i sedimentet, som er mere end 30 år gammelt. Umiddelbart skulle man ikke tro, at organisk materiale fra mikroalger er svært at nedbryde, men nedbrydningen foregår meget langsomt eller slet ikke, viser vores resultater. I to år overvågede vi udsnit af fjordbunden fra 7 lokaliteter i Odense Fjord i laboratoriet for at få et mål på, hvor hurtigt nedbrydningen af det organiske stof foregår. Resultaterne viste, at over de to år var bakterier i fjordbunden kun i stand til at omsætte 3-5 % af det organiske stof, der var til stede ved start (se figur 2). Videre analyser baseret på omsætningsforløbet indikerer, at 4-58 % af det organiske stof har så lav reakti-



Undervandsbilleder fra indre Odense Fjord, hvor vanddybden er ca. 1 m. Billedet til venstre er taget på en sjælden dag, hvor der var 2-3 m's sigt (der er ca. 1,5 m mellem sonden i forgrunden og den gule bøjle i baggrunden). Billedet til højre viser normalsituationen. De fleste dage er der "slukket for lyset", da koncentrationen af organiske og mineralske partikler er høj.

Hvordan måles vands klarhed?

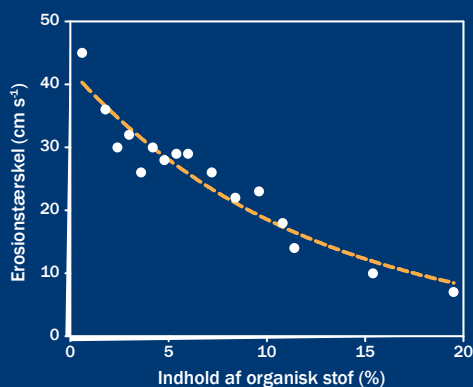
Oftest måles vands klarhed med en rund, hvid skive, som betegnes en *Secchiskive*. Secchiskiven sænkes ned i vandet på bådens skyggeside indtil den dybde, hvor observatøren lige netop ikke kan se skiven længere. Det betegner *sigtdybden*, hvor der kun er ca. 10 % lys tilbage i forhold til ved overfladen. I det nationale overvågningsprogram måles sigtdybden gennemsnitligt to gange om måneden på alle målestationer. Antallet af målestationer i vores fjorde er dog begrænset, og fx har Odense Fjord (62 km²) kun en enkelt målestation, som besøges rutinemæssigt. Man kan diskutere, om én målestation kan repræsentere en hel fjords miljøtilstand.

Vands klarhed er bestemt af to faktorer: (1) mængden af partikler i vandet og (2) vands egenfarve. Partikelindholdet er dog langt den vigtigste faktor for vands klarhed i de indre danske farvande. Opslæmmede partikler i vandsøjlen består af encellede alger og organiske og mineralske partikler, som alle påvirker vandets klarhed. I mange år har man ment, at for mange encellede alger var hovedårsagen til den ringe sigtdybde i fjordene. Det har derfor givet årsag til en del frustrationer, at den reducerede udledning af næringsstoffer øjensynlig ikke havde nogen effekt på vandets klarhed målt med secchiskive. Årsagen er nok, at den reducerede udledning af næringsstoffer kun har ført til en moderat reduktion i mængden af levende partikler, dvs. alger, mens mængden af organiske og mineralske partikler, som udgør hovedparten af opslæmmede partikler i lavvandede områder, er uændret. Et fald i koncentrationen af alger kan dermed være svært at måle.



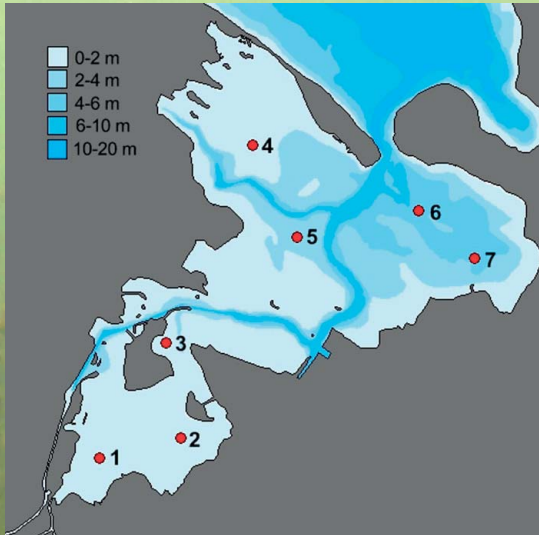
En secchiskive sænkes ned i vandet for at måle sigtdybden. Skiven er ca. 20 cm. i diameter.

Lavvandede kystområder er også meget dynamiske som følge af vind og vejr. Det betyder, at vandstrømme over bunden varierer fra typisk 0-20 cm/s på stille dage til 20-80 cm/s på dage med middelsstærke til stærke vindforhold. Mængden af organiske og mineralske partikler i vandet følger denne dynamik, idet de opslættes i vandsøjlen når fjordbunden eroderes af vandstrømme. Sigtdybden i lavvandede fjorde kan derfor variere meget fra dag til dag, og mange af problemerne med at opnå gode sammenhænge mellem næringsstofudledninger og lysforhold i vores fjorde skyldes utvivlsomt denne dynamik.



Figur 1. Der er en entydig sammenhæng mellem fjordbundens indhold af organisk stof og erosionstærskel, dvs. den vandhastighed, hvor fjordbundens overflade eroderer og opslættes i vandfasen. Organisk fattige sedimenter eroderer ved omkring 45 cm/s, men allerede omkring 2 % organisk indhold er erosionstærsklen kraftigt reduceret. Fjorde med organisk rige sedimenter er derfor ramt af hyppigere sedimenterosion og højere partikkelkoncentrationer i vandfasen end fjorde med organisk fattige sedimenter. Resultater er opnået ved modelforsøg udført i en strømmende med forskellige sedimenter.

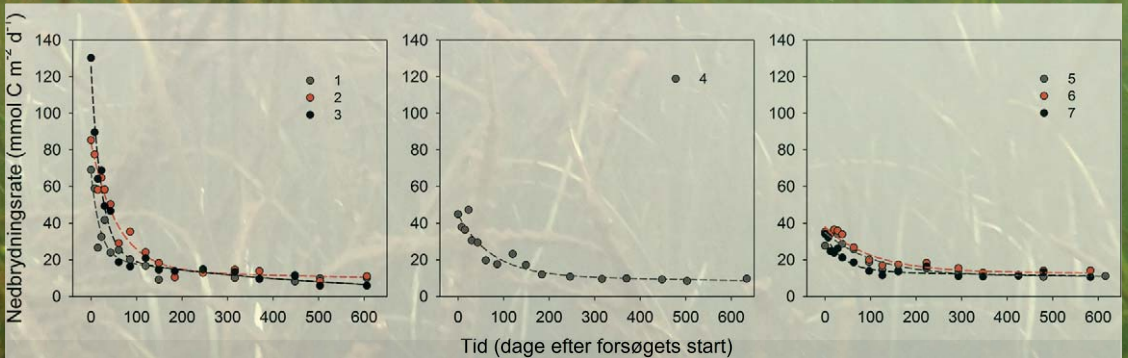
Kilde: Lars Frederiksen og andre (upubl.)



Kort over Odense Fjord. Uforstyrrede udsnit af fjordbunden blev indsamlet fra 7 stationer i fjorden, hvor fjordbunden var rig på organisk stof.



Prøverne blev holdt under konstante forhold i laboratoriet (mørke, 15°C). I løbet af forsøgets varighed blev nedbrydningen af organisk stof fulgt med høj tidslig opløselighed.



Figur 2. Nedbrydningen af organisk stof på de syv stationer fra Odense Fjord over forsøgets varighed. Nedbrydningsraterne blev bestemt ud fra frigivelsesraten af CO_2 fra fjordbunden. På alle stationer faldt nedbrydningsraterne over tid, i takt med at det mest reaktive organiske stof blev opbrugt. Baseret på nedbrydningsforløbene (stiplede linjer) og den totale mængde organisk stof ved forsøgets start konkluderer vi, at markante fald i fjordbundens indhold af organisk stof ikke vil ske inden for en overskuelig fremtid.

vitet, at det kun kan omsættes over tidsforløb på 30-50 år, og at 41-95 % slet ikke kan omsættes. Denne langsomme nedbrydning betyder i realiteten, at en fjordbund med en koncentration af organisk stof svarende til det, vi har undersøgt i laboratoriet, ikke ad naturlig vej kan nå tilbage til et niveau fra før tiden med massive tilførsler af næringsstoffer.

Ingen udsigt til bedring

Vore beregninger og modellforsøg viser, at sedimenters indhold af organisk stof skal være mindre end 2 % for, at fjordbunden bliver stabil nok til, at vi kan få bugt de med hyppige erosioner af fjordbunden og deraf følgende høje mængder partikler i vandet. I Odense Fjord finder man i dag niveauer af organisk materiale i sedimentet på mellem 5,0 og 8,8 %. Der er dermed ikke udsigt til, at proble-

met med uklart fjordvand vil løse sig selv inden for en overskuelig fremtid.

Man skal selvfølgelig holde sig for øje, at en sådan beregning baseret på laboratorieforsøg ikke nødvendigvis kan overføres til naturen, hvor mange faktorer kan spille ind og påvirke udviklingen i fjordbunden. Fx tilføres fjordbundens overflade hele tiden nyt materiale, som afspejler de nuværende miljøforhold. Man kan derfor forestille sig, at der om 50 år er dannet et nyt lag sediment ovenpå det nuværende, som har en helt anden sammensætning og som ikke giver anledning til uklart vand. Et sådant nyt lag sediment ville virke som et låg, som indkapsler det lag, som giver problemer nu. Det kræver naturligvis, at indholdet af svært nedbrydeligt organisk materiale er lavere end 2 %. Dette scenarie er dog ikke så sandsyn-

ligt, da der stadig skylles for mange næringsstoffer ud i de lavvandede danske fjorde. Dannelsen af et nyt sedimentlag med mindre end 2 % organisk stof vil således kræve, at udledningen af næringsstoffer nedsættes yderligere.

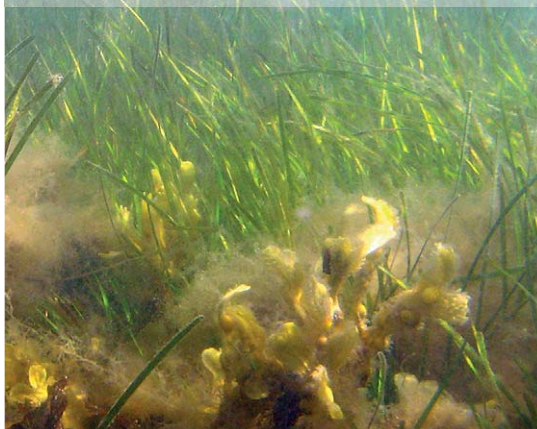
Ålegræs kan hjælpe fjordene

Det skal også nævnes, at de omtalte resultater specifikt drejer sig om Odense Fjord. Vi ser dog de samme problemer i en lang række af de øvrige danske, lavvandede fjorde som Roskilde Fjord og i store dele af Limfjorden. Vi er derfor rimeligt sikre på, at den mekanisme, vi har beskrevet her, er et generelt problem for lavvandede fjorde.

Hvis vi vil hjælpe naturen med at genoprette fjordmiljøet, skal vi sørge for, at de grundlæggende forhold er i orden, og det gøres bedst ved at regulere udledningen af næringsstoffer. Dernæst kan man sætte ålegræs ud på lavt vand i fjordene, hvor der efter vores vurderinger burde være lys nok. Ålegræssets blade reducerer vandstrømmen nær bunden og modvirker derfor erosion af fjordbunden. De lavere vandhastigheder omkring ålegræsbede bevirker også, at partikler i vandet bundfælder. Ålegræsbede filtrerer dermed vandsøjlen for lysdæmpende partikler. Hvis det lykkedes at reetablere betydelige arealer med ålegræs i de lavvandede dele af fjordene vil det med stor sandsynlighed have stor effekt på lysforholdene. I øjeblikket arbejder projektet NOVAGRASS med at udvikle teknikker til reetab-

NOVAGRASS

Projektet NOVAGRASS arbejder med at udvikle teknikker til reetablering af ålegræs på stor skala. Det er et stort samarbejdsprojekt med deltagere fra danske og udenlandske universiteter (Syddansk Universitet, Aarhus Universitet, Københavns Universitet, Göteborgs Universitet, Virginia Institute of Marine Science og Radboud University Nijmegen), myndigheder (Naturstyrelsen) og private virksomheder (Videnscentret for Landbrug, DHI, Grøn og Blå Tech, KC Denmark og Multidyk). Se også hjemmesiden: www.novagrass.dk



lering af ålegræs på stor skala. Reetablering af ålegræs i fjorde kan dermed være en reel mulighed om blot ganske få år.

Videre læsning:

Denne artikel er baseret på: T. Valdemarsen, C.O. Quintana, E. Kristensen og M. Flindt (2014) Recovery of organic-enriched sediments through microbial degradation: implications for eutrophic estuaries. *Marine Ecology Progress Series* 503:41-58

Om projektet NOVAGRASS: www.novagrass.dk



Vidste du, at 1/3 af RUC's kandidater i naturvidenskab bliver forskere?

Almen Biologi | Datalogi | Fysik | Geografi | Informatik | Kemi | Matematik | Medicinalbiologi | Miljøbiologi | Molekylærbiologi | Sundhedsfremme og Sundhedsstrategier | TekSam (miljøplanlægning)

Læs mere på
ruc.dk/natbachelor



Roskilde Universitet

Fiskeyngel er fremtidens nytårstorsk

Ny forskning viser, at vores fiskeri i højere grad bør rettes mod små umodne fisk. Det vil give større fangst for fiskerne og mindre forstyrrelser af fiskebestandenes struktur. Men det kan koste på økonomien.

Hvert år fortærer menneskeheden ca. 120 millioner tons fisk. Da antallet af mennesker i verden er stigende, er det vigtigt, at havets fiskebestande ikke overudnyttes. Ellers kan bestandene kollapse og være ude af stand til at levere fisk til vores spiseborde i fremtiden.

I 2012 foreslog en international gruppe forskere, deriblandt Jan Beyer fra DTU Aqua, i tidsskriftet *Science*, at vi radikalt bør ændre vores fiskeri. Vi bør fange flere små fisk og færre store fisk. Det kan umiddelbart lyde fornuftigt, at vi skal fiske kortlevende fiskearter som sild og brisling mere intensivt end arter som torsk, der er længere om at blive voksne. Men forskerne bag *Science*-artiklen gik skridtet videre og foreslog, at vi også skal fiske unge, endnu ikke gydemodne fisk. Det strider imod traditionel forvaltning af fiskeriet, som går ud fra det princip, at alle fisk skal have muligheden for at lægge æg og formere sig mindst en gang i livet. Dermed sikrer man, at der er fisk igen det efterfølgende år. For fiskerne betyder dette princip, at der er detaljerede regler om mindstemål og lovlige typer fiskegrej.

Forskernes argument for også at fiske unge fisk var, at de fleste små fisk alligevel bliver spist, inden de når at vokse sig store nok til at gyde.

Idéerne kom fra studier af afrikanske fiskerier, hvor forbrugerne bekymrer sig mindre om, hvorvidt en fisk er på størrelse med en lillefinger eller en stor laks. Denne måde at fiske på, kaldet "balanceret fiskeri", står altså i skærende kontrast til den måde, som man i Vesteuropa historisk har forvaltet fiskerierne på.

Undersøgelser af balanceret fiskeri

Det er i sagens natur vanskeligt at eksperimentere med havet for at undersøge, hvordan vi skal organisere vores fiskeri for at få størst muligt udbytte uden at ødelægge fiskebestandene. Ved *Centre for Ocean Life* har vi derfor undersøgt effekten af balanceret fiskeri ved hjælp af modeller, der beskriver fisks specielle livshistorie. De fleste fisk lægger millionvis af bittesmå æg på et milligram og vokser gradvist op til deres maksimale størrelse, som kan være fra 10 g (brisling) til 500 kg

Forfatter



Nis Sand Jacobsen er ph.d.-studerende ved Centre for Ocean Life, DTU Aqua.
nsja@aqua.dtu.dk
Tlf: 61771396



Foto: Carsten R. Kjaer

(tun). I løbet af denne udvikling skifter fødevalget fra plankton til gradvis større fisk. Disse modeller er derfor optimale til at undersøge konsekvensen af et balanceret fiskeri, hvor man fisker små, umodne fisk.

Vores resultater viser, at et balanceret fiskeri giver lidt større totalfangster og mindre effekter på økosystemet end et mere traditionelt fiskeri. Men samtidig er de fisk, der bliver landet, meget små. For det danske fiskeri vil det betyde, at vi stort set ingen voksne torsk vil få til nytårsbordet, men til gengæld vil fiskemelsfabrikkerne vrimle med bitte-små torsk, brislinger og tobis.

Forsigtigt fiskeri giver mest økonomi

Fiskeri handler i høj grad også om økonomi, som har stor betydning for fiskeriets udvikling. Forskellige fisk har forskellige priser, og nogle fisk er nemmere at fange i større mængder end andre. De ekstreme eksempler er de store blåfinnede tun, der på det japanske marked kan give op til 45.000 kr. for et kilo, hvorimod tobisen herhjemme kan give min-

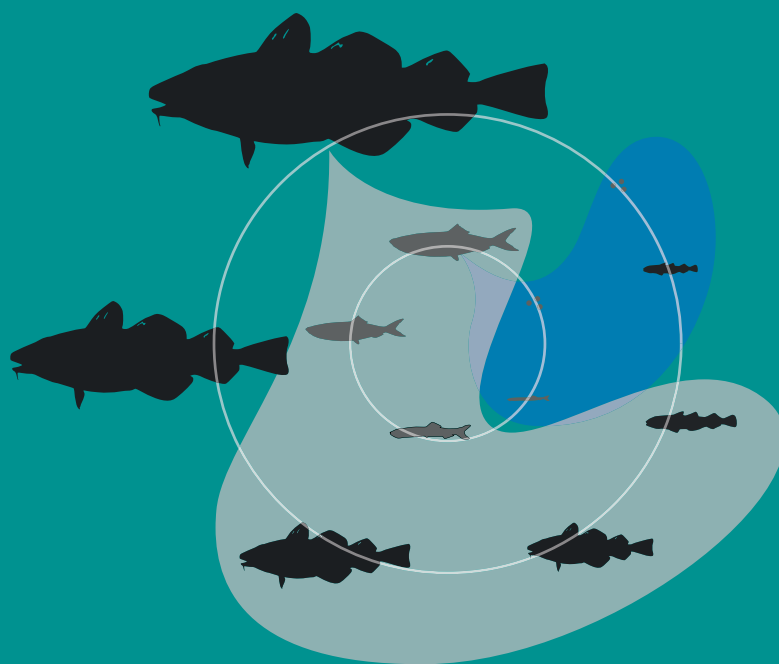


Illustration af fiskemodellen repræsenteret ved torsk og brisling. Den yderste cirkel viser torskens livshistorie fra æg til voksen, og den inderste cirkel viser brislingens livshistorie. Det grå skraverede område er hvad en voksen torsk vil spise – den spiser både voksne brislinger og mindre torsk. Det blå område viser hvad brislingen ved spise – den lever hovedsageligt af dyreplankton (ikke vist), fiskeæg og mindre fisk. Når en fisk får energi fra føden, bruger den den enten på at lægge æg eller at vokse sig større.

Grafik: Jan Heuschele

Fiskemodeller

For at undersøge, hvordan fiskebestande udvikler sig og hvilken indflydelse, de har på hinanden, er det nødvendigt at bruge matematiske modeller.

Vi har udviklet modeller specielt tilpasset til spillet mellem fiskearter. Konceptet er at beskrive fisk ud fra deres størrelse: Den størrelse, de har igennem livet, og deres maksimale størrelse. Ved hjælp af størrelsen kan man bestemme, hvor stort et område en fisk vil afsøge for mad, hvor meget den kan spise og hvor meget energi, den vil bruge på fordøjelse og vejtrækning. Når fisken er tæt på sin maksimale størrelse begynder den at bruge dens tilgængelige energi fra maden på at gyde i stedet for at vokse. Med denne information kan man opstille et fiskesamfund med fisk, der har forskellige maksimale størrelser og derfor forskellige livshistorier.

Denne type modeller kan bruges til at undersøge forskellige scenarier for fiskeriet. Fx er konsekvensen af at fiske udelukkende store fisk, at det samlede antal mindre fisk vil blive større, da de i mindre grad bliver spist. Antallet af forskellige størrelser fisk vil dermed være anderledes end, hvis der slet ikke blev fisket.



Brisling koster ikke meget pr. kg. Fiskene bliver forarbejdet til fiskemel og olie, der kan bruges som fodder i opdræt.



Store torsk har en stor kg pris. De store fisk har et større kommercielt marked og er velegnede til menneskelig konsum.

Maksimering:	Fangst	Økonomi	Biodiversitet
Effekt:			
Fangst		Lav	Meget lav
Økonomi	Lav		Rimelig
Bidiversitet	Meget lav	Rimelig	

Resultatet af at maksimere tre forskellige forvaltningsstrategier: størst mulig fangst, den højeste økonomi eller bevaring af biodiversitet. Der er modstridende resultater afhængigt af hvilken forvaltningsstrategi man vælger, fx giver en høj fangst lav økonomi og meget lav biodiversitet, hvorimod maksimering af økonomien giver lav fangst, men en rimelig biodiversitet.

Videre læsning

Garcia, S. M., Kolding, J., Rice, J., Rochet, M.-J., Zhou, S., Arimoto, T., ... Dunn, D. (2012). Reconsidering the consequences of selective fisheries. *Science*, 335(6072), 1045–1047.

Jacobsen, N. S., Gislason, H., & Andersen, K. H. (2014). The consequences of balanced harvesting of fish communities. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1775), 20132701.

Kommentar om forvaltning, økonomi og balanceret fiskeri Maxwell, S. M., Hazen, E. L., Morgan, L. E., Bailey, H., & Lewison, R. (2012). Finding Balance in Fisheries Management. *Science*, 336(6080). Retrieved from www.sciencemag.org/content/336/6080/413.1.short

dre end 1 krone pr. kg. Derfor har vi undersøgt, hvordan man bedst kan optimere fiskeriet i forhold til tre parametre: total fangst i kg fisk, økonomi og biodiversitet.

Vi fandt, at for at få den største fangst må man ty til ekstremerne og fiske de store sultne fisk bort. Dermed er der mere plads til de små fisk, fordi der er færre rovdyr, som spiser dem. Det svarer i princippet til den måde, vi har organiseret vores landbrug på: Vi har fjernet græsserne fra markerne og rovdyrene fra vores dyr for at maksimere produktionen af korn og kød.

Det økonomiske udbytte er derimod størst, når fiskeriet er meget forsigtigt. Derved får man en større fangst af de store arter, der oftest giver en større kilopris. Det forsigtige fiskeri går også hånd i hånd med ønsket om at bevare biodiversiteten. Hvis målet først og fremmest er et ønske om at beskytte strukturen i fiskebestandene, kræver det dog et endnu mere forsigtigt fiskeri end, hvis man har det maksimale økonomiske udbytte for øje.

Vi kan ikke få det hele

I forhold til fødevarer produceret i land- og havbrug lever fisk ikke et isoleret liv: De er afhængige af andre fisk for føde og bliver selv spist af andre fisk. For forvaltningen af fiskeriet betyder dette, at man

ikke kan betragte de forskellige arter hver for sig. Hvis man fx er interesseret i et fiskeri på både torsk og dens føde sild og brisling, er man derfor nødt til at tage højde for, at de spiser hinanden. Hvis der er et kraftigt fiskeri på sild og brisling, er der mindre mad til torsken, hvilket betyder en mindre fangst af torsk. Men der kan også være positive sider ved fiskeri på en art. Hvis man fx fisker torskebestanden ned, bliver der flere sild og brisling, som man kan fange.

Vores undersøgelser viser derfor bl.a., at den måde, vi fisker Nordsøen på nu til dags, potentielt kunne give et større økonomisk udbytte, hvis vi fisker mindre. Og det ville samtidig betyde en bedre beskyttelse af havets liv.

Konklusionen er dermed, at vi ikke kan få det hele – vi må foretage et valg og gøre os klart, hvad vi er mest interesseret i: Vil vi have flest penge, større totalfangst eller beskytte havets naturlige struktur mest muligt? Hvordan vores fiskeri kommer til at se ud i fremtiden er i sidste ende en politisk beslutning. Koncepter som “balanceret fiskeri” hjælper os med at forstå, hvordan vi bedre kan komme frem til de mål, vi sætter os. ■

Ingeniører løser problemer. Problemet er, at vi mangler ingeniører

Engineer the future er i luften. Vil du være med?

Hvis vi kan overbevise det danske samfund om, at teknologi er svaret på mange store udfordringer – og hvis vi bliver flere ingeniører i fremtiden, kan vi gøre problemer til muligheder. Hvis ikke, så har vi et helt andet problem.

Engineer the future.dk

Fra genetik til epigenetik

Forfatterne:



Katrine Sonne-Hansen er Forskningskoordinator, m.sc. ph.d.
katrine.sonne@bric.ku.dk



Charlotte Etzerodt er centerkoordinator
charlotte.etzerodt@bric.ku.dk



Kristian Helin er professor, ph.d. og direktør
kristian.helin@bric.ku.dk

Alle ved Biotech Research and Innovation Centre (BRIC) og Center for Epigenetik, Københavns Universitet.

De senere år er det blevet klart, at celler indeholder anden arvelig information end den, der er indeholdt i den genetiske kode. Det har gjort epigenetik til et yderst varmt forskningsemne, der har ført til ny erkendelse om organismers udvikling og kan lede til potentielle behandlinger for folkesygdomme som kræft.

Kortlægningen af menneskets genom i 2001 gav forskere og læger håb om at, en række sygdomme nu kunne diagnosticeres og behandles hurtigere og mere effektivt. Med en viden om den "normale" genetiske kode, forventede man at kunne udpege sygdomsfremkaldende genetiske mutationer og målrettet behandle de skadelige effekter af dem. Men så enkelt skulle det ikke være. Det har nemlig vist sig, at mange sygdomme tilsyneladende ikke kun opstår som følge af ændringer i den genetiske kode – men også som følge af ændringer i vores geners organisering eller, populært sagt, deres arkitektur. Den information, som påvirker genarkitekturen, findes ikke i vores genetiske kode, men i modifikationer omkring vores DNA. Og det har vist sig, at denne information blive kopieret og givet videre i lighed med den genetiske kode, når vores celler deler sig. Vores celler indeholder altså anden "arvelig" information end den genetiske kode. Med den erken-

delse er forskning i såkaldt *epigenetik* stormet frem i den internationale forskningsverden de seneste år. Resultaterne har på flere punkter vendt op og ned på vores forståelse af helt grundlæggende forhold omkring organismers udvikling og sygdommes opståen, og det har udfordret vores opfattelse af, at den genetiske kode eksklusivt betinger disse processer.

Epigenetik – historisk set

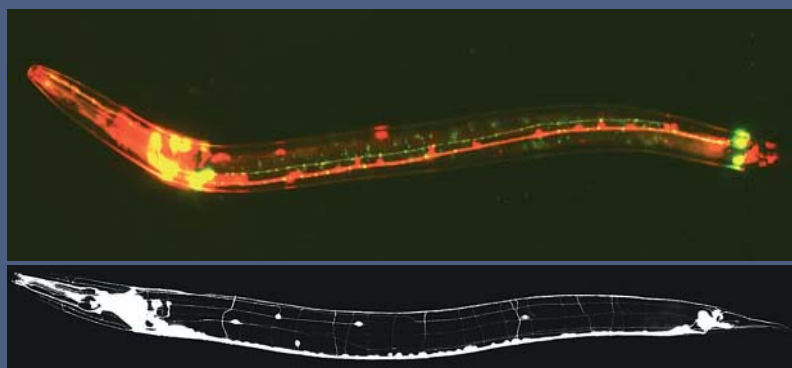
Ordet "epi" er af græsk oprindelse og betyder egentlig "ved siden af" – så epigenetik betyder "ved siden af generne". Ordet epigenesis kan spores langt tilbage i historien og var i blandt andet 1600- og 1700-tallet forbundet med den da fremherskende *præformationsteori*. I følge denne teori indeholdt kønscellerne forstadiet til et allerede dannet individ i miniature, hvorved udvikling alene blev et spørgsmål om vækst ud fra en forud fastlagt (præformeret) form. I 1942 introducerede biologen C. H. Wad-

Nye udfordringer – nye metoder

Inden for den epigenetiske forskning betræder man til stadighed ny grund, og det stiller store krav til de metoder og den teknologi, som anvendes. Eksempelvis har bestræbelserne på at kortlægge histon-modifikationer og de mønstre, de optræder i, gjort det nødvendigt at udvikle avancerede massespektrometriske og systematiske, kvantitative proteinanalyser (proteomics) i stor skala. Det åbner op for, at forskere kan øge deres indsigt i spørgsmålsområder som, hvordan cellerne indbyrdes signalerer, hvilken rolle histonerne spiller under celledeling samt undersøge de proteiner, som genkender og binder sig til bestemte histon-modifikationer.

Forskerne ved Center for Epigenetik fokuserer på mange fundamentale biologiske og mekanistiske spørgsmål, bl.a. hvordan den epigenetiske "hukommelse" bevares igennem celledeling efter celledeling. Hvordan koordineres denne komplekse proces i tid og rum, og med kopieringen af DNA-koden under en celledeling, uden at der opstår uønskede forandringer i kromatinet og i placeringen af histon-modifikationer? Her har en af centrets grupper udviklet en ny banebrydende metode, som gør det muligt at følge histon-modifikationer over tid og igennem celledeling. Det er forventningen, at metoden kan kaste lys over den epigenetiske hukommelse og ikke mindst over betydningen for både normale organismers udvikling og for udvikling af eksempelvis kræft.

Centret bruger også rundormen *C. elegans* som en modelorganisme i bestræbelser på at kaste lys over de epigenetiske regu-



↑ Rundormen *Caenorhabditis elegans* er en meget brugt organisme i forskning. Den bliver ca. 1 mm lang, og da den er gennemsigtig kan den enkelte celledeling og afgrænsning tydeligt iagttages. Det gør ormen yderst velegnet til studier af såvel normal udvikling som af, hvad der sker, når udviklingen forløber unormalt.

Foto: Roger Pocock, BRIC.

lators biologiske funktion. Fordelen ved *C. elegans* er, at dens udvikling og celledifferentiering er beskrevet ned til den mindste detalje, så man kan følge hver enkelt celledeling.

Det gør det muligt at undersøge, hvordan epigenetiske enzymer regulerer de mekanismer, som tilsammen bestemmer den enkelte celledeling, men også hvordan denne identitet bevares, så eksempelvis en nervecelle forbliver en nervecelle.

← Illustrationen viser et DNA-molekyle, hvor der er koblet en metylgruppe ($-CH_3$) på begge DNA-strengene ved DNA-basen cytosin i midten. Dette kaldes DNA-metylering, og dette fænomen spiller en stor rolle i epigenetisk regulering af gener og for udvikling af kræft.

Illustration: Christoph Bock, Max Planck Institute for Informatics

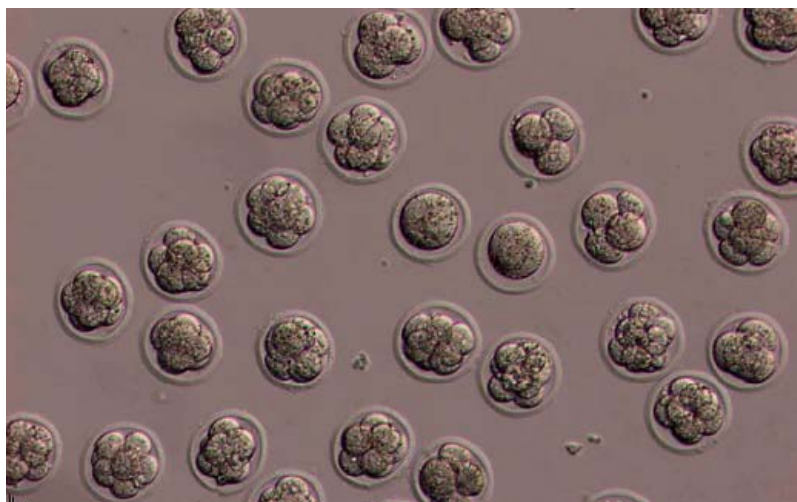
dington en mere moderne forståelse af ordet epigenetik som genernes evne til at frembringe et fænotypisk udtryk igennem vekselvirkning med omgivelserne i cellen. I dag, mere end et halvt århundrede senere, bruges begrebet epigenetik som nævnt oftest om funktionelle forandringer af genomet, uden at det involverer ændringer i selve DNA-sekvensen.

Epigenetikken beskæftiger sig således med ændringer, som kan overføres fra en generation til en anden, uden at det direkte involverer ændringer i den genetiske kode. Begrebet "generation" har i denne sammenhæng to betydninger: Således kan ændringerne nedarves fra en *celle*-generation til en anden, fx når stamceller deler sig og giver ophav til nye datter-celler, og det har også været beskrevet, at epigenetiske ændringer endda nedarves fra et individ til de næste generationer. Hvis de epigenetiske ændringer således sker i et individs kønscel-



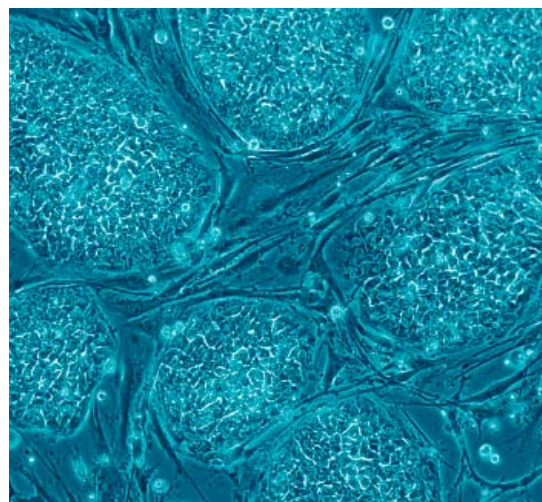
I cellekernen i hver eneste celle i vores krop findes den genetiske information lagret i DNA-molekylet. Den godt to meter lange DNA-dobbelthelix er sirligt viklet op omkring proteiner kaldet histoner. Tilsammen kaldes DNA og histoner for kromatin.

Akvarel af Nicolas Bouvier for G. Almouzni, CNRS Institut Curie, Paris.



Mikroskopibilleder af embryoer fra mus i de stadier (2-8 celler), hvor den allerførste celle er begyndt at dele sig. På dette tidspunkt er cellerne endnu ikke specialiserede – dvs. de har ikke udviklet den "identitet", som kendetegner den fuldt udviklede celle, og som cellen derefter giver videre til de efterfølgende cellegenerationer.

Foto: Aditya



På billedet ses en koloni af humane stamceller fra et embryo. Disse celler, som stammer fra de tidligste udviklingsstadier, kan differentiere til hvilken som helst af de 220 typer af celler, som tilsammen udgør den menneskelige krop. Det gør stamcellerne yderst anvendelige inden for grundforskning, ligesom det åbner op for udvikling af nye behandlingsformer.

Foto: Nissim Benvenisty

ler, kan ændringen gives videre til individets afkom. Det har man fx observeret i populationsstudier af svenske befolkningsgrupper, hvor ernæringstilstanden angiveligt ser ud til at inducere nogle epigenetiske forandringer i alle kroppens celler, inklusiv kønscellerne, ændringer som viste sig at påvirke senere generationers sundhedstilstand. Man har dog endnu ikke forstået mekanismen for, hvordan epigenetiske ændringer i praksis kan nedarves fra en generation til en anden, og mange forskere er derfor stadig skeptiske overfor, om det faktisk kan lade sig gøre.

Epigenetikken store spørgsmål

Den genetiske kode er bestemt af rækkefølgen af basepar i vores DNA, og den er ens i alle kroppens celler. Hver gang en celle deler sig, helt fra den første stamcelle, dannes en identisk kopi af vores DNA, som gives videre til de to nye celler.

Et af de helt store videnskabelige spørgsmål er, hvordan den første stamcelle, som opstår, når æg og sædcelle smelter sammen, kan give ophav til de 220 forskellige celletyper, vores krop består af. Dette store spørgsmål rummer i sig selv en helt vifte af interessante spørgsmål: Hvordan ved cellerne, som alle har den samme genetiske kode, hvad de skal blive til? Og hvordan opretholdes cellernes specialiserede funktioner livet gennem? Her træder epigenetikken ind, da den udstyrer vores celler med en form for viden og hukommelse om, hvad de er, både under fosterudviklingen og senere i livet, hver gang de deler sig. Men hvordan lagres denne

hukommelse i cellerne? Og er denne "epigenetiske" hukommelse involveret, når celler glemmer, hvad de er og i stedet udvikler sig til kræftceller?

Svarene på de spørgsmål kan måske lede os på vej mod behandlinger af sygdomme – fx hvis man kan finde metoder til at re-programmere kræftceller, så de opnår deres normale epigenetiske hukommelse og ikke længere opfører sig som kræftceller.

Epigenetiske mekanismer styrer genaktiviteten

Som nævnt er et af epigenetikken helt store spørgsmål, hvordan dannelsen af specialiserede celletyper sker ud fra den første stamcelle – en proces kaldet differentiering. I denne proces er epigenetiske mekanismer populært sagt ansvarlige for at "slukke" og "tænde" for udvalgte gener, så kun de rette gener er tændt i en given celletype, på et givent tidspunkt. Og det er afgørende for, at en celle kan bevare sin identitet og funktion. Man mener således, at en af årsagerne til at kræft opstår, er, at nogle celler fejlagtigt "de-differentierer" og modtager signaler om, at de besidder stamcelleegenskaber, hvilket får dem til at dele sig ukontrolleret. Kræftudviklingen påvirkes dermed ikke kun af egentlige mutationer, men også af epigenetiske ændringer, som får cellen til at tro, at den skal dele sig. Det udfordrer den klassiske opfattelse af, at kræft udelukkende er en genetisk sygdom.

I cellernes kerne ligger vores to meter lange DNA-streng sirligt viklet op omkring nogle proteiner kal-

Center for Epigenetik

Center for Epigenetik er et af Grundforskningsfondens *Centers of excellence*, som holder til på forskningscentret BRIC ved Københavns Universitet. Det har medlemmer fra fem forskningsgrupper; fire ved BRIC og en ved Institut for Biokemi og Molekylærbiologi på Syddansk Universitet. I alt bringer centret ca. 50 forskere (først og fremmest postdoc og ph.d.-studerende) sammen i bestræbelserne på at besvare en række af de store spørgsmål inden for epigenetikken.

De overordnede forskningsmål for centeret er:

At identificere nye modifikationer af histonerne og deres samspil med andre epigenetiske modifikationer. Med andre ord at bidrage til definition af det, der kaldes "histonkoden".

At identificere de enzymer, der katalyserer påsætningen og fjernelsen af histonmodifikationer, samt at identificere de proteiner, der afkoder histonmodifikationerne.

At identificere de udefrakommende signaleringsveje, der regulerer histonmodifikationerne.

At forstå den biologiske betydning af histonmodifikationerne samt de identificerede enzymer og proteiner, der influerer på



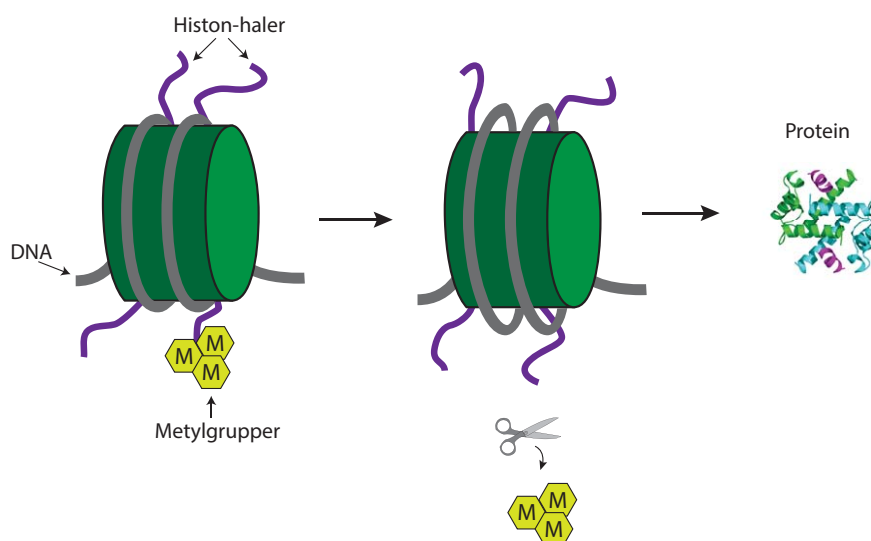
Forskningsmøde på Center for Epigenetik

Foto: René Andersen

reguleringen af disse.

At give indsigt i, hvordan den epigenetiske regulerings normale funktion bliver ændret ved forskellige sygdomme, især kræft.

Når bestemte kombinationer af histon-modifikationer, fx metylgrupper, sidder på histonerne, bliver kromatinstrukturen så tæt, at DNA-koden ikke kan aflæses. Men visse proteiner/proteinkomplekser kan fjerne modifikationerne, hvorved strukturen løsnes. Generne er nu tilgængelige for aflæsning, og produktionen af proteiner aktiveres.

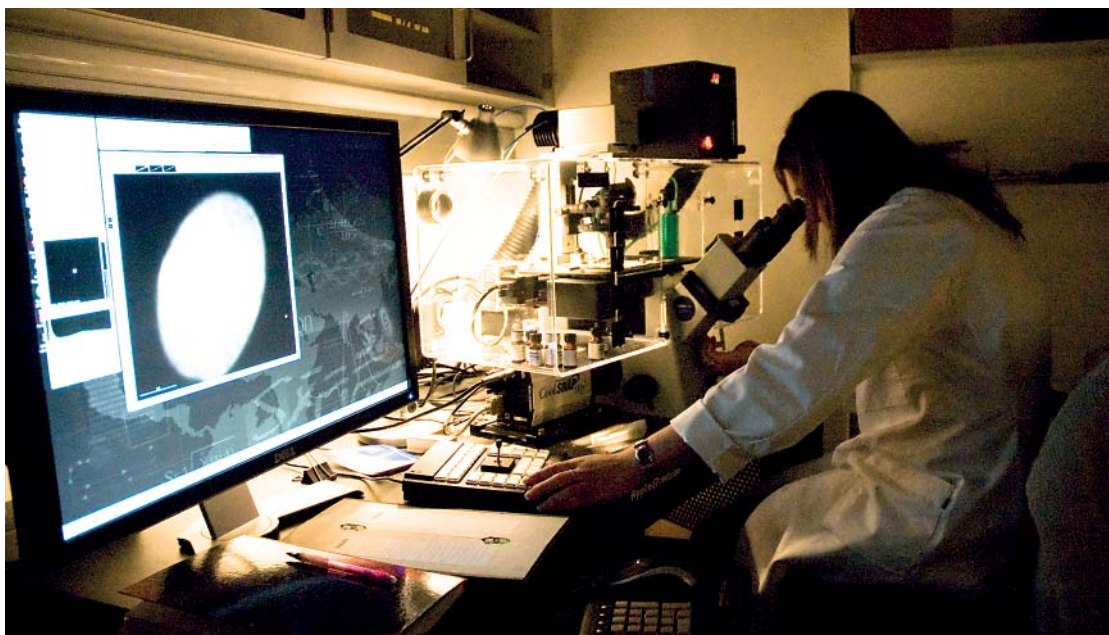


det histoner. Sammen udgør DNA og histoner en struktur kaldet kromatin, og netop denne struktur har stor betydning for vores genes aktivitet. Hvis strukturen er tæt, kan det maskineri, som aflæser og kopierer DNA-koden, ikke komme til, og generne i området vil være slukket. Omvendt vil generne i et område med en løs kromatinstruktur have muligheden for at være tændte. Det er derfor interessant at studere de epigenetiske mekanismer, der kan regulere kromatinets struktur og dermed vores genes aktivitet. Og det er netop omdrejningspunktet for forskeres arbejde ved Center for Epigenetik.

Nogle af disse epigenetiske mekanismer påvirker histonerne ved at inducere små kovalente modifikationer, såkaldte histonmærker, som er kemiske grupper (fx metylgrupper), der er hæftet på histonernes overflade. Modifikationerne medvirker til, at forskellige proteiner og proteinkomplekser binder til kromatinet, hvilket har betydning for, hvor tilgængeligt det underliggende DNA er. Forskere fra Center for Epigenetik har identificeret og karakteriseret flere enzymer, som er i stand til at påsætte og fjerne nogle af disse histon-modifikationer. At fjerne histon-modifikationer giver i nogle tilfælde en mere åben struktur af kromatinet og i andre til-

Prøver undersøges i mikroskopet på BRIC.

Foto: René Andersen



Videre læsning:

Centrets hjemmeside
<http://epigenetics.ku.dk/>
www.epigenetics.dk

Helin and Dhanak,
 Nature, 2014 (oversigts-
 artikel)

Alabert et al. Nature Mol
 Biol, 2014 (metodeudvik-
 ling til at aflæse kromat-
 induplikering)

Gehani et al, Molecu-
 lar Cell, 2010 (cellulære
 stres-faktorer påvirker
 genaktivitet)

Cloos et al, Nature 2014
 (fund af demetyleringsen-
 zymen)

Oversigtsartikel som
 diskuterer mulige måder
 effekterne kan nedar-
 ves på:
 Young, N.A. & White-
 law, E. (2008): Transge-
 nerationale Epigenetic
 Effects. Annual Review
 of Genomics and Human
 Genetics. Vol. 9: 233-257.

Artiklen bygger på artik-
 len: "Center for Epigene-
 tik – når den genetiske
 kode ikke giver (hele)
 svaret", oprindelig offent-
 liggjort i BioZoom vol. 15,
 nr. 2, 2012.

fælde en mere lukket struktur. Altså har disse enzymer betydning for tilgængeligheden af DNA'et og om generne bliver aflæst eller ej – og dermed altså for aktiviteten af vores gener. Men historien er ikke så enkel og andre epigenetiske reguleringsmekanismer virker i samspil med de kemiske histonmærker og udfordrer forskernes forståelse af, hvad der præcist skal til for, at vores gener er aktive.

Epigenetik og sygdom

En af de helt store erkendelser, der følger af disse resultater, er, at de epigenetiske mekanismer er langt mere reversible end tidligere antaget. Før antog man, at modifikationer var stabile, når de først sad på histonerne. Men med afsløringen af særlige enzymer, som kan fjerne modifikationer fra histonerne, har centrets forskere vist, at den epigenetiske regulering er reversibel. Det antyder, at epigenetiske mekanismer er en fleksibel måde at regulere vores gener på i forhold til genetiske mekanismer, som kræver ændringer af den genetiske kode. Andre resultater fra centerets forskere understøtter denne opdagelse. Det har således vist sig, at epigenetiske mekanismer justerer processer og funktioner i vores celler, når de fx udsættes for ydre stress-faktorer. Det kan fx være tobaksrøg, stråling eller bakterielle toksiner, der stresser cellerne, så de er nødt til at tilpasse deres normale funktioner for at overleve. Forskerne har således vist, at stressfaktorer kan tænde for gener, som normalt er slukkede, og det kan hjælpe cellen til at overkomme akut stress. Langvarig stress-påvirkning af vores celler giver derimod risiko for, at den ændrede genaktivitet kan være sygdomsfremkaldende og under fostertilstanden kan ændringer i genaktiviteten give udviklingsforstyrrelser. De epigenetiske ændringer kan altså i lighed med genetiske ændringer påvirke både vores normale udvikling og give anledning til sygdom.

At de epigenetiske mekanismer kan være reversible og fleksible, giver dog også begrundet håb om, at viden om disse mekanismer kan udnyttes til sygdomsbehandling. Ved kræft kan man ofte måle en overaktivitet af de såkaldte onko-gener, som stimulerer cellerne til at dele sig. Hvis man eksempelvis kan rette lægemidler mod de enzymer, som regulerer mængden af histon-modifikationer, kan man muligvis slukke for eller dæmpe aktiviteten af onko-generne og dermed hindre kræftcellerne i at dele sig.

Det vil også være meget interessant, hvis man ved skader på nervesystemet kunne om-programmere specialiserede celler og få dem til at opføre sig som stamceller, der kan give ophav til nye nerveceller.

Nyt lys over store spørgsmål

Epigenetikken er altså et felt, der videnskabeligt kan besvare nogle af de store forunderlige spørgsmål inden for biologien, blandt andet hvordan en kompleks organisme med 220 celletyper kan dannes fra en enkelt celle med en enkelt gentisk kode, og hvordan ydre påvirkninger lagres i vores cellers hukommelse og potentielt nedarves. Samtidig er epigenetikken et felt, der forventes at kunne give afsæt for nye behandlingsformer af de store folkesygdomme som fx kræft. Der forskes således verden over på højtryk i, hvordan man blandt andet kan modulere histonernes påhæftede kemiske grupper, som er vist ændret i stort set alle kræfttyper. Forskere fra Center for Epigenetik bidrager til dette arbejde og har startet biotek firmaet EpiTherapeutics, som forsker i og udvikler hæmmere af epigenetiske enzymer til brug i behandlingen af kræftpatienter. Den første hæmmer fra firmaet forventes at komme i kliniske forsøg i starten af 2015 som behandling for myelomatose (kræft i knoglemarven) og brystkræft. ■

DET VIRTUELLE LABORATORIUM 2.0



I Det Virtuelle Laboratorium 2.0 kan du blive klogere på gensplejsning, immunologi, fermentering og design af lægemidler.

Det gratis e-learningværktøj er udviklet til undervisningen i bioteknologi i gymnasiet, og en ny version af Det Virtuelle Laboratorium lanceres ved en konference den 2. september.

Se mere på **biotechacademy.dk**

Eksempel på opgave:
Produktion og test af antistof

1. Vacciner en mus med et antigen.
2. Ekstraher B-celler fra musen, og dyrk dem med cancerceller.
3. Isolér de antistofproducerende B-celler, og oprens antistoffet.
4. Test det oprensede antistof på en syg mus.



Det er Massen, der gør det!

Hurra - Higgs-partiklen er funden! Partiklen, der giver alting masse.
Efter begejstringen har lagt sig, melder eftertanken sig:
Hvad er det nu lige, begrebet masse dækker?
Lad os antyde de tanker, der i den anledning er gjort i tidens løb.

Nyhedsjournalisterne var for et par år siden ved at falde over deres egne ben i iver for at lancere meddelelsen om, at forskerne på Cern havde fundet den efterstræbte elementarpartikel – Higgs-partiklen. Et fund, der retfærdiggjorde de kostbare eksperimenter, der til stadighed foregår på forsøgsinstitutionens LHC-accelerator i Geneve. Man fik det indtryk, at Jordens befolkning lever i en stadig forundring over, at ting har masse, og at nu var forløsningen endelig indtrådt. Men forholder det sig sådan? Det kan man nu godt tvivle på. Hvem ofrer overhovedet begrebet masse den mindste opmærksomhed i en hverdag med Facebook og børnepasning? Ikke mange, tror jeg.

I 1959 mødte jeg første gang begrebet masse; nemlig i 2.g i forbindelse med den mekaniske fysik. Der var endda to slags masse; nemlig den tunge masse, der bruges i Newtons universelle gravitationslov og som måles på en ligearmet skålvægt, og den træge masse, der indgår i Newtons anden lov og i bevæ-

gelsesmængden (impulsen eller inertien), der jo er lig produktet af hastigheden og den træge masse. Denne sidste må bestemmes ved besværlige, dynamiske forsøg fx stød. Galileis faldforsøg viser som bekendt, at legemers frie fald i lufttomt rum forløber ens, uafhængigt af deres forskel i masse, og dermed, at de to slags masse er proportionale, og derfor kan man ved valg af enhedssystem sætte dem til en og samme værdi. Men begrebsmæssigt er de altså forskellige. Selvom jeg allerede dengang var meget interesseret i fysik, må jeg vedgå, at denne diskussion var gået fra Eriksen & Sikjærs lærebog, via mit hoved, og i den tykke glemmebog. Den nylige genlæsning afslørede min manglende indlevelse i emnet i gymnasietiden.

Newton's cirkeldefinition

Nu var min nysgerrighed imidlertid blevet vakt: Hvad sagde de gamle (jeg mener, de rigtig gamle) om massebegrebet? Hvad sagde eksempelvis Isaac Newton om massen? Fat i *Principia* og slå op!

Def. I.

Quantitas Materiæ est mensura ejusdem orta ex illius Densitate & Magnitudine conjunctim.

Eller, hvis latinen er blevet lidt rusten, i Andrew Mottes oversættelse fra 1729:

DEF. I.

The Quantity of Matter is the measure of the same, arising from its density and bulk conjunctly.

Forfatter



Carl-Erik Sølberg er lic.techn i elektrofysik fra DTH og pensioneret lektor i fysik ved Aalborg Universitet. cesolberg@webspeed.dk

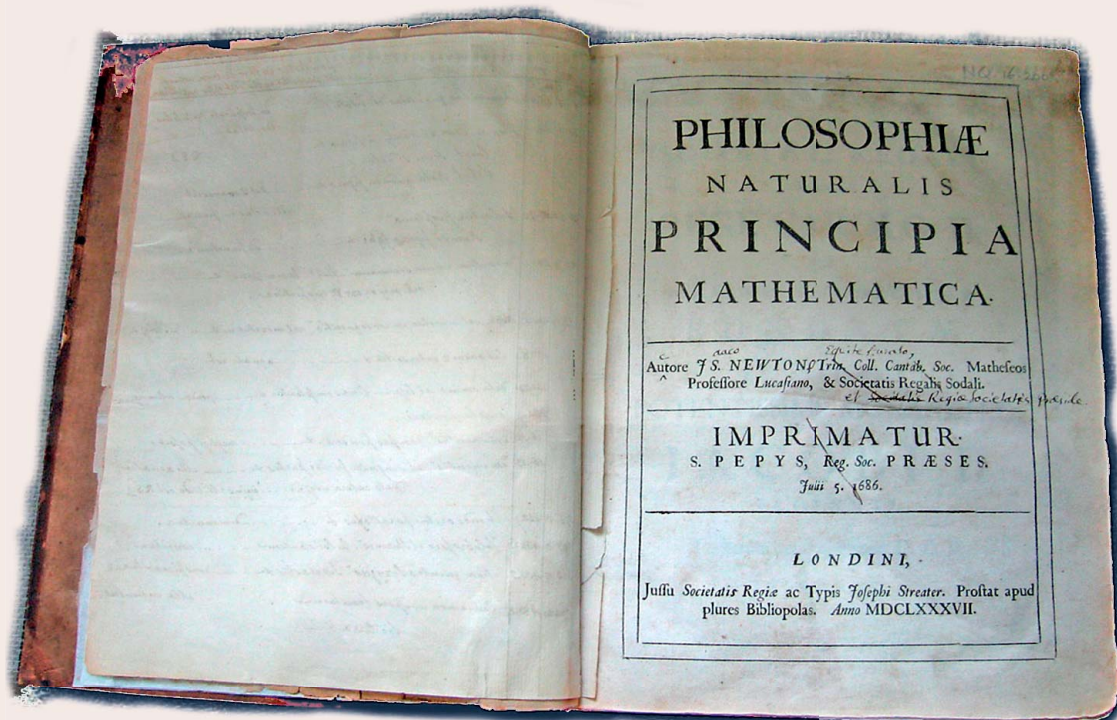
Hvilket er udlagt:

Mængden af stof er målet af samme, der fremkommer af dets tæthed og rumfang i forening.

Eller kort og godt:

Massen er lig produktet af massetætheden og rumfanget.

Denne definition har selvfølgelig givet anledning til indvendingen: For at bestemme massefylden skal man vide, hvad masse er! Altså er der tale om en cirkeldefinition, som hævdede af Ernst Mach i hans *Die Mechanik in ihrer Entwicklung* fra 1901.



Newtons egen førsteudgave af *Principia* fra 1687 med håndskrevne rettelser til 2. udgaven.

Mens Mach er kompromisløs i sin kritik af Newtons manglende logik er senere analytikere af *Principia* blidere og søger, som F. Cajori diskuterer det i sin reviderede udgave fra 1934 af Mottes udgave af *Principia*, forskellige mulige forklaringer på Newtons bagvedliggende mening. Blandt andet kan en mulighed være, at han har forestillet sig legemet opbygget af hårde partikler alle med samme masse og rumfang. Så beregner vi massefylden ud fra de to størrelser og multiplicerer dernæst med rumfanget af legemet og hokuspokus: Så har vi massen af legemet! Tilbage står problemet med den hårde partikels masse. Vi er faktisk lige vidt.

Udviklingen i det attende århundrede

De idéer, som Newton lancerer med *Principia*, vækker bestyrtelse i naturfilosoffernes kreds og deler den i Cartesianere og Newtonister. Blandt den sidste gruppe er Leonhard Euler den drivende kraft og forener Newtons bevægelseslove med hans og Leibniz's infinitesimalregning. Leonhard Eulers projekt beskrives i hans *Mechanika* fra 1736, hvor der i Wolfers oversættelse fra 1822 argumenteres ad Newtons baner, hvad angår massebegrebet. Alt i alt var de gamle ikke så nøjeregnende med at skelne mellem "masse" og det blødere udtryk "mængden af materie". Således skriver Euler:

Satz 17.

Lehrsatz.

§. 142. Die Kraft der Trägheit jedes Körpers ist der Menge der Materie, woraus er besteht, proportional.

"Die Kraft der Trägheit" er modstanden mod ændring af bevægelsestilstanden eller af bevægelsesmængden.

Den norsk-danske filosof Jens Kraft vendte efter en tur til Tyskland og Frankrig hjem med Newtons mekanik i en form, der umiddelbart minder om Eulers, og den er ligeså upræcis i sin omgang med "massen". Han skriver således:

»Alt Materielt derfor, indeholder under sin ydere Omkreds Dee, som have lige Bequemhed til at staa Bevægelsen imod, og at tage imod den. De ere det, som vi i det følgende vil kalde Materien eller Massen.«

Krafts *Mekanik* fra 1763, der var skrevet til brug på Det ridderlige Akademi i Sorø, var den første fremstilling af Newtons Mekanik på dansk. Og netop

fordi den var på dansk, forblev den også ret ukendt. Det, at den ikke blev brugt på universitetet og uden krævede matematisk indsigt, gjorde også sit til dens manglende udbredelse.

Udviklingen i det nittende århundrede

Lad os vende os mod Frankrig for at se om der dér er nye opfattelser. Vi slår ned på Simon Dennis Poissons, som i sin *Traité de Mechanic* fra 1811, oversat, skriver:

»Massen af et legeme er mængden af materie, hvoraf den består.«

Altså stadig den samme melodi!

Leonhardt Euler (tv) og
den norsk-danske filosof
Jens Kraft.



På Københavns Universitet herskede i årene op mod 1800 C. G. Kratzenstein i faget medicin med pligt til at tage sig af fagene fysik og kemi. Han havde en eksperimentel tilgang til mekanikken, og han indlod sig ikke med at definere de begreber, han anvendte. Men efter ham træder så H. C. Ørsted ind på banen, idet han blev udnævnt til extraordinair professor i fysik omkring 1805. Ja, han skal faktisk grundlægge fysik- og kemistudierne, hvorfor han til det brug skal skrive lærebøger. Kemien lå hans hjerte nærmest, og allerede i 1809 ligger den kemiske del på bordet. Først i 1844 er den mekaniske del færdigskrevet og endda ikke af ham selv, men af den polytekniske kandidat C. Petersen. Hvad skriver så Ørsted, eller rettere hans assistent, om massen?

»Mængden af den Materie, som indeholdes i et Legeme, kalde vi dets Masse.«

Altså nærmest en gentagelse af Poisons ord fra ende til anden uden en stramning af massebegrebet. *Carl*

V. Holten overtager faget efter Ørsted og udgiver *anden udgave af den mekaniske del* i 1854. Den ligger tæt op ad Ørsteds, og hans ord om massen er da også blot en gentagelse af læremesterens. Universitetets næste fysikprofessor er Christian Christiansen, der i 1892 i omtalen af massen kort og godt meddeler, at:

»Newton maaler da Massen ved Legemets Vægt, maalt ved hjælp af en skaalvægt.«

At dette ikke er en tilstrækkelig begrundelse for at kunne tillægge et legeme eller partikel en masse er én ting, men vi ser jo af det tidligere, at det end ikke er korrekt.

Udviklingen i det tyvende århundrede

Martin Knudsen, der følger Chr. Christiansen i embedet, gør sig i 1923 ingen overvejelser angående det ønskelige (nødvendige) i massemålingens uafhængighed af tyngdens rolle. Tværtimod skriver han:

MAALING AF MASSE

Vægte. Det Apparat, som benyttes til Maaling af Masse, kaldes en Vægt, men det maa erindres, at dette Ord ogsaa kan betyde noget ganske andet, nemlig den Kraft, hvormed Tyngden virker paa et Legeme.

Med E.S. Johansens *Grundrids af den almindelige Bevægelseslære* fra 1924 får piben en anden lyd. Der skelnes nu mellem tung og træg masse. Ydermere måles den sidste nu dynamisk, idet han følger Galileis skråplansforsøg og ved variation af kraften på legemet gennem elevationen af skråplanen og efterfølgende måling af den tilhørende acceleration viser, at kraft og acceleration er proportionale.

Hvad en kraft er, har han fra statikken. Den tunge masse måles på traditionel vis ved hjælp af den ligearmede skålvægt.

Den träge masse optræder, som antydet tidligere, i Newtons anden lov:

$$ma=F$$

Antager vi, at den eneste størrelse, vi kender på forhånd, er den kinematiske, altså accelerationen **a**, er

opgaven at fastlægge m uden brug af F . Det ser vi i Danmark første gang gennemført ved DTH på Polyteknisk Læreanstalt i Jakob Nielsens *Rationelle Mekanik* fra 1934. Hele argumentationen bliver hængt op på følgende tankeeksperimenter:

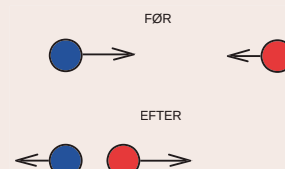
Med udgangspunkt i to isolerede legemer, der indbyrdes udfører stød, dannes kvotienten mellem de to partiklers hastighedstilvækster – hastigheden efter stødet fratrukket hastigheden før. Det viser sig, at uanset stødets nøjere beskaffenhed fås samme værdi (inden for måleusikkerheden). Dernæst skifter man den ene partikel ud med en tredje og forsøget gentages med en ny kvotient som resultat, stadig en kvotient, der er uafhængig af stødomstændighederne. Den tilbageværende partikel udskiftes med den udskiftede fra første stødserie, og alt gentager sig. Nu står man tilbage med tre kvotienter med den overraskende egenskab, at den første er lig produktet af de to sidste. Dette faktum frister til at fremsætte den hypotese, at kvotienterne alle tre kan skrives som forhold mellem to tal, der hver især er særegen for hver partikel. Denne skælære størrelse får benævnelsen masse. På grundlag af det allerede opnåede kan man "udlede" bevægelsesmængdebevarelsen for et isoleret partikelsystem, den dynamiske definition på en kraft og Newtons anden lov. Når ordet "udlede" er i anførselstegn skyldes, at antagelserne og hypoteserne i bagklogskabens klare lys kan vælges ud fra viden om, at resultatet af tankeeksperimentet skal give Newtons 2. og 3. lov. Første lov bringes faktisk i spil allerede i indledningen, da man bør forudskikke den bemærkning, at stødeksperimenterne skal beskrives fra et referencesystem, hvori inertiens lov er gyldig.

Jakob Nielsens fremstilling følger nøje i tresserne af Jørgen Schiellerup i hans lærebogssystem til brug ved Danmarks Ingeniørakademis filialafdelinger i Aalborg, hvor rigtigheden af tankeeksperimentets "resultater" underbygges af laboratorieøvelsers virkelige resultater indhentet fra stødeksperimentet på luftpudebænken.

Det fine i denne fremgangsmåde er, at den som udgangspunkt hverken kræver brug af begreberne masse eller kraft. At metoden er sjældent brugt ses af det faktum, at hverken Einstein og Infeld i deres populærvidenskabelige bog *The Evolution of Physics* fra 1938 eller *Richard Feynman* i sin *Lectures on Physics* fra 1964 bruger den, men griber til knebet med at inddrage kraften i forudsætningerne. Efter anden verdenskrig synes det i øvrigt i mekanikbøgerne almindeligt at danne accelerationskvotienterne mellem to isolerede, men vekselvirkende partikler, og derudfra måle den ene partikels træge masse ved den andens. Vi ser det således i Keith R. Symons *Mechanics* fra 1963 og i en af de senere danske mekanikbøger nemlig *Mekanik* af Gunnar Christensen et al. fra 1990.



Fidusen ved den vandrette luftpudebænk er, at "vognen" rider på en pude af luft, der strømmer ud af et utal små huller på bænken overside. Den derved manglende friktion betyder, at vognen er uden påvirkning af kræfter i bænken retning; den er isoleret i den retning. I lodret retning ophæves tyngden af luftens kraft på vognen; nu i opadgående retning. Den trekantede form af vogn og bænk forhindrer sideværts bevægelse. To vogne vil altså kun udveksle bevægelsesmængde (impuls), når de ramler ind i hinanden (eller i endeklodserne). Stødets art varieres ved at variere begyndelseshastighederne eller ved at ændre indretningen af de sammenstødende vogner: fjedrene, monterede magneter, dobbeltsidet tape. Diagrammet viser princippet i stødet mellem vognene på bænken; før og efter kontakten. Hele fysikøvelsen understreger mekanikkens eksperimentelle grundlag!



Har tendensen til en solid definition på den træge masse så bredt sig til gymnasieundervisningen? Uden at have set i alle de nyere bøger er min opfattelse den, at spørgsmålet helt gled ud ved lanceringen af Pihl & Storms lærebogssystem midt i tresserne. Et system, der ellers på andre punkter agtedes højt.

Den fremtidige udvikling

Efter denne gennemgang må man håbe, at selve det klassiske massebegreb står klarere i forståelsen således, at man er rede til at tage fat på Einsteins ækivalens mellem masse og energi i den specielle relativitetsteori og gravitationens sammenhæng med rummets krumning i den generelle; for slet ikke at tale om hvorledes Standardmodellen via Higgsfeltet giver masse til de øvrige elementarpartikler. Skelnes der overhovedet mellem tung og træg masse i disse moderne teorier, eller er det en og samme ting? Befolkningerne står og tripper i spænding på en klarlægning af disse spændende spørgsmål. ■

Videre læsning
Jørgen Schiellerup
(1969): Fysik 1, Polyteknisk Forlag 1969

Gunnar Christensen et al. (1990): Mekanik, Danmarks Tekniske Højskole 1990.

Dansk verdensarv

Stevns Klint og Vadehavet er kommet i fint selskab på UNESCO's verdensarvliste.

I juni måned blev Stevns Klint samt den danske del af Vadehavet optaget på UNESCO's verdensarvliste. Det er de første naturlokaliteter på dansk grund, der opnår denne hæder, som vi ellers forbinder med natursværvægtene som Grand Canyon i USA eller Great Barrier Reef i Australien.

Når Stevns Klint og Vadehavet optages på verdensarvlisten er det en anerkendelse af, at disse naturområder ikke kun er betydningsfulde for danskerne, men for hele menneskeheden. Og man forpligter sig selvfølgelig til at passe godt på de områder, man får optaget på verdensarvlisten. Derfor er det i forbindelse med ansøgning om at få optaget et naturområde på verdensarvlisten vigtigt, at der er lokal opbakning til projektet. Allerede i 1995 forsøgte daværende miljøminister Svend Auken at få den danske del af vadehavet optaget, men det lykkedes ikke dengang, netop på grund af manglende lokal opbakning. Men stemningen er siden vendt, og dermed er hele vadehavet (et område på ca. 7.000 km²) nu erklæret verdensarv. Den tyske og hollandske del af vadehavet er nemlig allerede at finde på listen (siden 2009). Den danske del af vadehavet blev i øvrigt erklæret dansk nationalpark i 2010.

Kystprocesser og dyreliv

Vadehavet er verdens største sammenhængende tidevandssystem, og det er et område under stadig forandring. Under istiden bestod området af smel-

tevandssletter, der strakte sig langt ud i Nordsøen, fordi vandstanden dengang var meget lavere end i dag. Da vandstanden steg efter istiden udviklede området sig til en såkaldt barriekyst med barriereøer adskilt fra hovedlandet af laguner. I lagunerne bag barrieren aflejres finkorende sedimenter, og der er udviklet marsk og vader. Barriereøerne rykker mod land i takt med det stigende havspejl, og det er en proces, der stadig foregår, da vandstanden stiger ca. 2 mm om året.

Vadehavet huser et rigt dyre- og planteliv med mere end 10.000 forskellige arter, og hvert år mellemlander 10-12 millioner vadefugle for at hvile og proviantere på deres træk.

Spor af massedød

Udover sine åbenbare æstetiske kvaliteter bærer Stevns Klint vidnesbyrd om en af de største katastrofer i livets historie. Klinten består af kalkbjergarter, som blev dannet i havet i tiden omkring 66 millioner år siden på overgangen mellem de to geologiske tidsperioder, der kaldes kridt og palæogen (tidligere kaldte man sidstnævnte for tertiærtiden). Geologisk set er denne grænse mange steder i verden markeret af et tyndt lag af ler. Det er karakteristisk, at en stor del af de dyre- og plantearter, man finder repræsenteret som fossiler i bjergarterne i kridtaflejringer lige under lerlaget forsvinder netop ved grænsen. Der er tale om masseuddøen

Om forfatteren



Carsten R. Kjaer
Aktuel Naturvidenskab
crk@aktuelnaturvidenskab.dk

← Luftfoto af barriøen Fanø i Vadehavet. Nord og syd for øen ses store tidevandsrender. Vadehavet er et meget dynamisk landskab, som hele tiden ændres af især tidevand, vind og stormfloder.

Foto: Colourbox

→ Stevns Klint ved Højerrup, hvor kirken står faretruende nær ved afgrunden. Selve klinten består nederst af skrivekridt. Det famøse lerlag – fiskeleret – findes lige under udhænget, der består af såkaldt bryozokalk.

Foto: Carsten R. Kjaer

Kilder:
Vadehav.dk
Kulturstyrelsen.dk



i et omfang, der kun overgås af en enkelt anden begivenhed i Jordens historie (nemlig på overgangen mellem tidsperioderne Perm og Trias).

I videnskabelige kredse har der været en heftig diskussion om, hvad der var skyld i denne masseuddøen. De fleste forskere hælder i dag til den teori, at et kæmpestort meteoritnedslag ud for Yucatanhalvøen havde en afgørende finger med i spillet. I denne sammenhæng er forskere fra hele verden valfartet til

Stevns Klint, da det er et af de bedste steder i verden at studere de geologiske lag omkring grænsen. Stevns Klint repræsenterer måske ikke den mest komplette grænse geologisk set i Danmark – fx findes en lille lokalitet Nye Kløv i Nordjylland (et lille kalkbrud), hvor den tidlige “opløsning” formentlig er højere – men Stevns Klint er uden sammenligning den mest spektakulære. Desuden sørger havets stadige bearbejdning af klinten for, at kysten for at holde grænsen “frisk”, så man kan komme til at studere den. ■

↓ Fotos fra nordligste del af Vadehavet, Ho Bugt. En vade (tv) med mange sandorm, som viser noget om den høje organiske produktion i Vadehavet. Luftfotoet (th) viser et system af strømrender (prieler og loer) skabt af tidevandet.

Fotos: Colourbox





FÅ NYE PERSPEKTIVER PÅ NATURVIDENSKABEN

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

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

Gå ind på science.ku.dk/gymnasiebesog

Her kan du se en film om vores gymnasiebesøgsordning og tilmelde dig vores nyhedsbrev, så du får besked om, hvornår du kan bestille et besøg hos os med din klasse.

DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET



BOGANMELDELSE

UDGIVELSER

80 års klimaændringer set fra luften

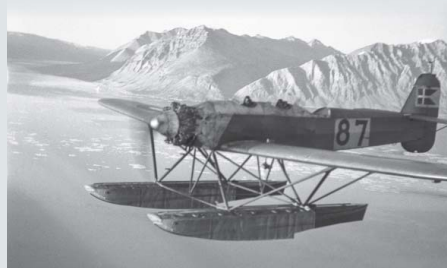
Anmeldt af Jens Olaf Pepke Pedersen, seniorforsker ved DTU Space

Her i 200-året for adskillelsen af Danmark og Norge i 1814, er det ofte blevet fremhævet, at relationerne mellem de to lande siden da har været gode og fredelige, men i 1931-1933 var vi i konflikt omkring overhøjheden over det dengang ubeboede Østgrønland. Da Norge blev afstået til Sverige i 1814 blev det ellers understreget, at afståelsen ikke omfattede Grønland, Færøerne eller Island, men efter første Verdenskrig steg spændingen langsomt i Arktis mellem de to lande. Norske fangere havde i en årrække jaget sæler i havisen ud for Grønlands østkyst og begyndte nu også at gå i land for at jage bjørn og moskusokser. Det førte til konflikter mellem danske og norske fangere, og i 1930 udnævnte Norge – på trods af danske protester – officielt en politimester for nordmændene i Østgrønland. I sommeren 1931 rejste en gruppe norske fangere det norske flag i det centrale Østgrønland og erklærede det for norsk territorium under navnet Erik den Rødes Land. Få uger senere godkendte Stortinget og den norske regering formelt besættelsen og annekterede officielt området.

Situationen kunne i princippet have ført til krig mellem de to lande, men begge regeringer optrådte besindigt, og den danske regering valgte at indbringe sagen for Den internationale Domstol i Haag, der i 1933 afgjorde, at Danmark havde den fulde suverænitæt over hele Grønland. Året forinden havde Norge ellers annekteret endnu et område af den østgrønlandske kyst, men de handlinger blev nu kendt retsstridige.

Det glemte fotoarkiv

I forbindelse med retssagen i Haag satte Danmark gang i et omfattende ekspeditionsarbejde i Grønland, der skulle understrege landets krav på hele øen. En række videnskabelige ekspeditioner havde allerede i årene forinden udforsket store dele af kysten, og i 1932 tog man et nyt våben i brug, nemlig den danske flådes vandflyvere. Målet var at gennemfotografere Grønland fra luften, og i løbet af blot fem somre i 1930'erne lykkedes det at fotografere størstedelen af kysten fra Disko i vest til Kap Farvel i syd og op langs østkysten til Danmarkshavn.



Piloterne i de små åbne flyvemaskiner må virkelig have været gjort af "The Right Stuff". Forholdene har været barske i 4.300 meters højde med temperaturer ned til minus 40 grader. I alt blev der optaget over 11.000 billeder – en be-drift, der fint tåler sammenligning med dagens store videnskabelige ekspeditioner.

I mange år lå det enorme fotoarkiv gemt og efterhånden også glemt i en bunker i Vestvolden udenfor København, indtil de i 2008 blev fundet af professor Kurt Kjær fra Statens Naturhistoriske Museum. Han indså, at billederne kunne bruges til at dokumentere ændringerne i Grønlands gletsjere i den mellem-liggende periode, og i sommeren 2013 fløj han sammen med en gruppe kollegaer og tog billeder af nogle af de samme gletsjere, som blev fotograferet i 1930'erne.

Imponerende billeder

Et udvalg af billedmaterialet er nu udgivet i bogen *Indlandsisen – 80 års klimaændringer set fra luften* og viser, hvordan gletsjerne har ændret sig. Grønland oplevede i 1920'erne og 1930'erne en kraftig opvarmning, og bil-lederne er således taget under en varmepe-riode. Herefter faldt temperaturen igen og gletsjerne begyndte derfor atter at vokse indtil omkring 1990, hvor temperaturen igen steg kraftigt. De fleste gletsjere (men ikke dem alle sammen) er derfor smeltet tilbage i de 80 år. Bogens kvalitet er især de imponerende bil-leder – herunder også scener fra de tidlige ekspeditioner – som også kan nydes, selvom man ikke interesserer sig for klimaændringer. De ret korte tekster måtte gerne have været uddybet, men den flotte udgivelse sikrer for-håbentlig, at den store indsats fra de danske flyvere ikke går i glemmebogen igen.

Kurt Kjær (red): *Indlandsisen – 80 års klima-ændringer set fra luften*, 184 sider, 325 kr. ■

Oxygen

Teaterstykket *Oxygen* handler om opda-gelsen af grundstoffet oxygen i den sidste halvdel af 1700-tallet med de tre forskere Scheele, Priestley og Lavoisier som hoved-personer. I teaterstykket kobles disse per-soner og deres hustruers tænkte møde i 1777 med et tilsvarende tænkt møde i no-belkomiteen i 2001 om tildeling af "retro-priser" for at hædre kemikere, der gjorde store opdagelser før indstiftelsen af no-belprisen. Stykket er oversat til 18 sprog, og Dansk Selskab for Historisk Kemi står nu bag en dansk udgivelse af stykket i bogform.

Oxygen – et skuespil i 20 scener. Redigeret af Ture Damhus, Anita Kildebæk Nielsen og Børge Riis Larsen. Historisk-kemiske skrifter nr. 21. 200 sider, 200,- kr. Kan købes ved Nyt Teknisk Forlag



Danmarks truede arter – den danske rødliste

Mange dyre-, svampe- og plantearter er i fare for at forsvinde fra den danske natur. I Danmark har eksperter vurderet arternes risiko for at uddø – kaldet en rødlistevur-dering – i perioden 2003-2010. Resultatet er præsenteret i Danmarks truede arter. Peter Wind og Rasmus Ejrnæs: *Danmarks truede arter*. Aarhus Universitetsforlag 2014. 181 sider, 249, 95 kr.

Vidunderlige videnskab – den ioniske drøm

I denne bog tager Ian von Hegner et kig på videnskaben i et historisk perspektiv, forklarer hvad videnskabelige metoder egentlig er, kigger på hvilken relevans re-ligioner har for videnskaben i dag og kommer med bud på, hvor videnskaben vil føre os hen i fremtiden.

Ian von Hegner: *Vidunderlige videnskab – den ioniske drøm*. Skriveforlaget 2014. 563 sider, 249,- 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
- **Joachim Groth**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Tine Kjær Hassager**, kommunikationschef, Danmarks Tekniske Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Elin Møller**, kommunikationschef, AU Kommunikation, Science and Technology, Aarhus Universitet
- **Carsten Nielsen**, videnskabsjournalist, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet

Redaktionsgruppe

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

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

Ansvarshavende

Kommunikationschef Elin Møller

Redaktion

Redaktør Jørgen Dahlgaard og redaktør Carsten Rabæk Kjaer

Tlf.: 87 15 20 94

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

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

Abonnementspris 2014

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

Abonnementsservice

Portoservice, Postboks 9490, 9490 Pandrup

Telefonnr.: 70 25 55 12

e-post: aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Eller via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Layout og illustration: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S

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

Oplag: 8.300

Omslag: Illustrationen viser et DNA-molekyle, hvor der er koblet en metylgruppe (-CH₃) på begge DNA-strengene. Illustration: Christoph Bock, Max Planck Institute for Informatics.



Fagpanel

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

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

GRUNDFOS



Tilbud



Intropakken – en oplagt gaveide

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

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

Abonnementsservice

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

Kontakt abonnementservice på

Telefon: 70 25 55 12

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

aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

Adgang til pdf-udgave

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

Brugernavn: **aktuelnr3**

Kodeord: **urh49egt**

Du logger på via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk hvor du vælger punktet "Nyeste numre" (3-2014). Herefter kan du logge på i højre side.

Tilbud til gymnasieskolen



Ny inspiration til din undervisning?

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

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

Se mere på: aktuelnaturvidenskab.dk

Her finder du et komplet artikelarkiv samt undervisningsmateriale til flere artikler

Priseksempel

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

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

Meningsfyldt nonsens

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

For et par numre siden bragte vi i Aktuel Naturvidenskab en kort notits om programmet SciGen, udviklet af forskere ved MIT som en satirisk protest mod datalogikonferencer, som forskerne mente accepterede bidrag af meget lav faglig standard. Programmet kan generere en tilsyneladende formfuldendt datalogiartikel, som ifølge programmets ophavsmænd ikke adskiller sig væsentligt fra, hvad man kan læse i materiale fra disse "lavniveau-konferencer". At forskerne havde en pointe må siges at være bekræftet ved, at en fransk forsker for nylig kunne vise, at programmet er blevet flittigt brugt til at lave en lang række artikler, der er blevet optaget i såkaldte conference-proceedings udgivet på fine forlag.

Rapportgeneratoren

De amerikanske forskere er ikke de eneste, der har moret sig med at lave sådanne programmer. Allerede tilbage i 1996 brugte Peter Sestoft noget af sommerferien på at udvikle en *Stokastisk Rapportgenerator*, som med et enkelt klik kan lave et forslag til et "Virtuelt Center". »Virtuelle centre var det nye sort i 1996, og forskningsministeriet havde udgivet flere rapporter om disse uundværlige enheder, herunder *Forslag til Virtuelt Center for Humanistisk og Samfundsvidenskabelig IT-forskning*, som i hvert fald den gang forekom mig noget floskuløst«, fortæller Peter Sestoft, der i dag er professor ved IT-universitetet i København. Og da han allerede i sin gymnasietid omkring 1980 havde udviklet et program, der kunne generere grammatisk korrekt, men meningsløs dansk tekst, var det ikke det store problem at lave en mere avanceret og webbaseret udgave af programmet, som en satirisk kommentar til ministeriets forslag.

»Teknisk set er det ikke vanskeligt at lave et sådant program«, forklarer Peter Sestoft. »Først skal man vælge et passende forråd af buzzwords, fx "koncept", "struktur", "potentiale", "ressource", "global", "virtuel". Dernæst skal man programmere nogle rutiner til at generere sætninger og ledsætninger, der overholder dansk grammatik, sådan at rutinerne vælger tilfældigt fra ordforrådet og fra udvalget af mulige sætningsstrukturer. Dansk grammatik er grundlæggende ret simpel, men man skal selvfølgelig have styr på intetkøn, fælleskøn, flertalsformer mv.«

Sjov med et twist af alvor

I modsætning til programmet SciGen er Peter Sestofts stokastiske rapportgenerator – så vidt han da ved – ikke blevet brugt til andet end sjov og ballade. Udover den personlige fornøjelse har arbejdet med programmet givet ham lidt ekstra anseelse i det akademiske miljø. »Jeg har fået en hel del reaktioner gennem tiden, hvor folk har sagt til mig, at rapportgeneratorens kreationer i mistænkelig grad mindede om et typisk strategidokument. Og når jeg bliver præsenteret i akademiske sammenhænge – fx som foredragsholder – bliver jeg ofte nævnt som ham der har lavet rapportgeneratoren«.



Peter Sestoft med en kreation fra sin stokastiske rapportgenerator.

Foto: Martin Nedergaard Møller

I dag arbejder Peter Sestoft ikke med noget, der har med computergenereret tekst at gøre. »Men arbejdet med rapportgeneratoren har givet mig anledning til at reflektere over, hvor ivrige vi som læsere er for at tillægge også "rigtige" tekster (skrevet af mennesker) et indhold eller en dybsindighed, der måske ikke er der. Det er nemt at bilde sig ind at en velformuleret og kompliceret tekst også er meningsfuld – eller i hvert fald sværere at overbevise sig om det modsatte«, siger han. »I disse tider, hvor alle afkræves større og større produktion, burde det ans pore læsere til at være skeptiske og spørge: "Giver dette mening"?«.

Mange muligheder

Selvom Peter Sestoft ikke selv har planer om at opdatere sin rapportgenerator, er det langt fra umuligt, at der vil kunne blive god brug for en opdateret version i fremtiden. I hvert fald skriver han på sin hjemmeside, at hvis man justerer ordforrådet og tilpasser lix-tallet, kan rapportgeneratoren formentlig bringes til at generere evalueringsbilag, hørings svar, strategiplaner, kvalitetsudviklingsrapporter, essays om postmodernisme, OL-reportager og lignende dokumenter. Og den slags bliver der næppe mindre af lige med det første...

Programmet er frit tilgængeligt via: www.itu.dk/people/sestoft/center.html