Aktuel NATURVIDENSKAB

5 | NOVEMBER I 2013

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00

Krystallografi: kemikerens genfundne redskab

Topologiske isolatorer - materialer der kun leder strøm på overfladen

Organiske solceller og lyskilder på vej frem

Sparsom sampling – en ny digital revolution?

SYNSPUNKT

Læs og forstå

Det videnskabelige systems valuta er *citationer* – dvs. at man citerer andre forskeres artikler i ens egne artikler. Men det bliver ret meningsløst, hvis man i stor stil citerer afhandlinger, man aldrig har læst.

Af Anders Smith
Chefkonsulent, ph.d.
DTU Energikonvertering
ansm@dtu.dk

Hvad laver forskere? Forskere producerer artikler. Og ligesom tilfældet er med malkekøer og slagtesvin, er selektionspresset i retning af stadig større produktion. Ganske vist er kvantitet ikke alt – det skulle også gerne være nogle gode artikler eller svinekoteletter. I landbrugsproduktionen ønsker man at kunne måle kvaliteten af det producerede uden at skulle udsætte sig for at smage på det. På lignende vis opstår spørgsmålet om, hvordan man skal bedømme kvaliteten af folks forskning uden rent faktisk at læse deres artikler?

Folk, der arbejder inden for samme snævre fagområde, bedømmer hinandens arbejde ved at gå til de samme konferencer, høre hinandens indlæg, diskutere med hinanden osv. Det kan klart nok ikke lade sig gøre i stor skala, eller hvis man skal sammenligne folk fra forskellige fagområder. Så i stedet kigger bedømmelsesudvalg, fondskomiteer og forskningsråd på mere objektive kriterier: Hvor mange artikler har man været medforfatter til, hvor mange gange er artiklerne blevet citeret af andre, hvilke tidsskrifter har artiklerne været bragt i?

Det ligger naturligvis implicit i disse kriterier, at de rent faktisk måler en form for kvalitet. Og det gør de måske også til en vis grad. Men i takt med, at disse kriterier tillægges større og større vægt, agerer videnskabsfolk som de rationelle økonomiske agenter, de er, og tilnærmer sig en adfærd, der kun let karikeret kan beskrives som: Publicér flere artikler ved at reducere det nye element i hver artikel til det mindst mulige og citér kollegerne i ens faglige netværk flittigt i forventningen om at få citationer retur den anden vej.

En valuta med inflation

Man kan spørge sig selv, om det virkelig er så oplagt, at en artikel, der kommer i *Nature*, altid er bedre end en, der publiceres i *Journal of the Less Common Metals*? Og at meget citerede artikler pr. definition også er meget gode og relevante artikler? Det er i hvert fald let at finde modeksempler: Artiklen i *Nature* hvis konklusion er blevet strammet en tand for meget for at finde nåde for redaktørens blik, eller hvis man får brug for at slå efter, hvad en citeret artikel egentlig siger, og alt for ofte finder, at den slet ikke har relevans for det citerede. Citationer brugt som videnskabelig valuta er som andre papirvalutaer udsat for inflation.

For nylig havde jeg et tilfælde tæt inde på livet, der meget konkret illustrerer denne problemstilling. På DTU Energikonvertering forsker vi i magnetisk køling (se *Aktuel Naturvidenskab*, 3-2013, s. 18-21) – en lovende køleteknologi, der er baseret på den såkaldte *magnetokaloriske effekt:* At magnetiske materialer ændrer temperatur, når de kommer ind i et magnetfelt. Alle, der arbejder inden for feltet, ved, at effekten blev opdaget af den tyske fysiker Emil Warburg i 1881, da han studerede egenskaberne af jern i et magnetfelt. Hans artikel er blevet citeret mere end 200 gange over de sidste 15 år for denne opdagelse.

Da jeg sidste år skulle skrive en stor oversigtsartikel om magnetokaloriske materialer, ville jeg inkludere en kort historisk oversigt, og jeg vidste naturligvis, at jeg skulle begynde med Warburg. Jeg fik derfor bestilt artiklen hjem fra biblioteket, og var uforsigtig nok til at læse den igennem – på tysk endda, for videnskabsfolk for 100 år siden var frække nok til at skrive på andre sprog end engelsk. Stor var min overraskelse, da det viste sig, at Warburg slet ikke omtaler den magnetokaloriske effekt eller forsøger at måle noget, der ligner, i sin artikel. Og ved nærmere eftertanke var der egentlig noget underligt ved, at Warburg skulle kunne have opdaget en sådan effekt i jern ved stuetemperatur. Det ville kræve, at han kunne måle temperaturforskelle på få mikrokelvin, noget der selv i dag er en udfordring.

Lærerig historie

Så ikke nok med at næsten alle i feltet har citeret en artikel, de ret sikkert ikke har læst – de har ikke engang gjort sig den ulejlighed at tænke efter, om det overhovedet var fysisk muligt for Warburg at gøre en sådan opdagelse.

Hvad kan man lære af denne lille historie – ud over at det selv for en naturvidenskabsmand kan være nyttigt at kunne andre fremmedsprog end engelsk? For det første det paradoksale i, at den videnskabelige litteratur i digitaliseret form (også gamle, obskure tidsskrifter) aldrig har været lettere tilgængelig for forskere, men at der alligevel citeres ulæste artikler i stor stil. For det andet, at man ikke kan sætte lighedstegn mellem meget citeret og meget relevant. For det tredje, at den eneste sikre måde til at bedømme indholdet af en artikel er ved at læse den kritisk (selv om man godt kan blive lidt træt ved tanken). ■

Videre læsning:

A. Smith et al., 'Materials challenges for high performance magnetocaloric refrigeration devices', Adv. Energy Mater. 2, 1288-1318 (2012)

A. Smith, 'Who discovered the magnetocaloric effect? – Warburg, Weiss, and the connection between magnetism and heat', Eur. Phys. J. H 38, 507-517 (2013).

Indhold

14

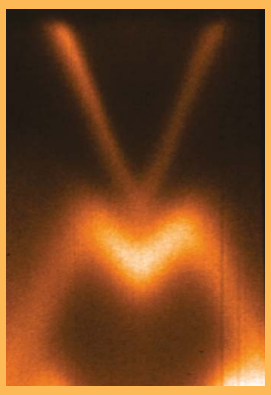
Organisk energiteknologi på vej frem?

Organisk energiteknologi er et varmt forskningsområde, som bl.a. søger at udvikle billige og fleksible solceller og lyskilder, der kan erstatte nuværende teknologi på området.

26

At lede eller ikke at lede

Materialer, der kan lede en strøm på overfladen, men ikke indeni, er et nyt varmt forskningsemne. Udover at være interessante i sig selv er de topologiske isolatorers særlige egenskaber yderst interessante til brug i fremtidens elektronik.



FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt 4

Nobelpris: Da naturen fik masse 7

Nobelpris: Kemi i computeren. 8

Grundstoffer sætter grænser for grønt brændstof . . . 10

Organisk energiteknologi på vej frem. 14

“Sparsom sampling” – en ny digitalrevolution?. 18

Grise som model for hjerteklap betændelse 22

At lede eller ikke at lede 26

Radiobier 32

Krystallografi - kemikerens genfundne redskab 37

PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

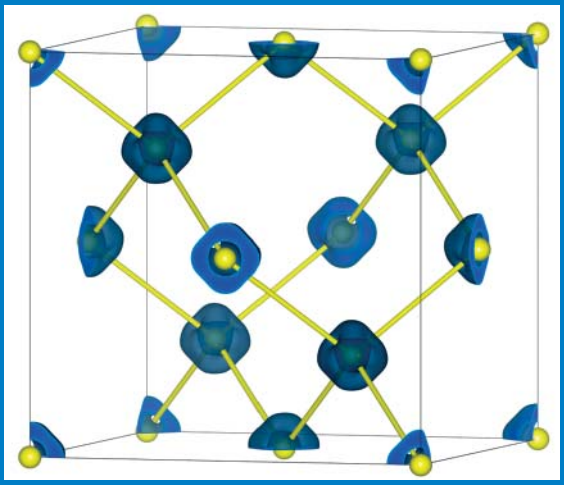
Synspunkt: Læs og forstå. 2

Videnskabelig tradition - styrke eller hæmsko?. 42

13 år med vandrammedirektivet
– har det givet os bedre vandløb? 46

Bøger: Bohr på ny. 49

Bagsiden: Lavpraktisk højteknologi. 52



37

Krystallografi - kemikerens genfundne redskab

Krystallografi betyder kort og godt “måling af krystaller”. De seneste årtier er krystallografien blevet genfødt som disciplin og er i dag et af kemikerens allervigtigste værktøjer til at afsløre den grundlæggende opbygning og struktur af alverdens faste stoffer.

Ilt i atmosfæren tidligere end antaget

Hidtil har videnskaben ment, at den første ilt i atmosfæren blev dannet for ca. 2,3 milliarder år siden i Jordens ca. 4,6 milliarder år lange historie. Men nu kan "iltens massive fødsel i atmosfæren" og dermed forudsætningen for liv på landjorden rykkes 700 millioner år længere tilbage.

Det er forskere ved Københavns Universitet og Nordisk Center for Jordens Udvikling (NordCEE) på Syddansk Universitet, der sammen med internationale kolleger dermed har føjet et nyt og hidtil ukendt kapitel til Jordens evolutionshistorie, hvad angår liv på landjorden.
Det nye resultat er for nylig publiceret i *Nature*, og det bygger på analyser af verdens ældste jordbund, som findes i 1.000 meters dybde under Sydafrika. Forskerne analyserede bl.a. prøverne for isotoper af krom, idet krom er meget følsomt over for tilstedeværelsen af ilt. Opdagelsen har rykket tidspunktet for, hvornår oxygen-producerende bakterier, og dermed fotosyntesen, indtog landjorden og endegyldigt tilførte ilt til atmosfæren.

Det har konsekvenser for den måde, vi fortolker udviklingen af det iltkrævende liv på jorden. Enten udviklede dette liv sig tidligere i jordens historie end hidtil antaget, eller også har det taget længere tid om at udvikle sig fra det tidspunkt, hvor forudsætningen i form af ilt i atmosfæren faktisk har været til stede.

Analyser for krom-isotoper i såkaldte båndede jern-formationer, har været med til at afsløre, hvornår der kom ilt i atmosfæren.

Foto: Nic Beukes

CRK. Kilde: pressemeddelelser fraKU og SDU, Nature, vol. 501, p. 535–538

Nyt om giraffens kredsløb

Forskere flokkes om den bedøvede giraf for at undersøge dens kredsløb.

Foto: Kristine Hovkjær Østergaard

Giraffers kropsbygning giver en indlysende fødevarefordel på savannen, men det højeste nulevende dyrs blodkredsløb er samtidig udsat for farligt store trykforskelle. Et netop afsluttet ph.d.-projekt giver ny viden om de beskyttelsesmekanismer, som gør giraffen i stand til at overleve.

Studierne er udført af Kristine Hovkjær Østergaard fra Institut for Medicin og Sundhedsteknologi på Aalborg Universitet i samarbejde med forskergruppen DaGiR (The Danish Cardiovascular Giraffe Research Programme). Hun belyser tilpasninger i giraffens kredsløb ved at be- eller afkræfte nogle af de myter, som eksisterer om dyret.

En af de teorier, der tidligere er blevet forkastet, er, at giraffer må have dobbelt så store hjerter som andre pattedyr. Giraffens middelblodtryk er dobbelt så højt som menneskets og andre pattedyrs, og trykforskellene i giraffens kredsløb er enorme. Derfor må der være udviklet nogle mekanismer som værn mod de alvorlige konsekvenser af et højt blodtryk. I de aktuelle studier er hjerter, arterier og vener blevet dissekeret, og der er foretaget fysiologiske målinger i både fritgående og bedøvede giraffer inden aflivning og obduktion.

Resultaterne viser, at voksne giraffer mod forventning har et markant højere antal muskelcellekerner (kardiomyocytter) i venstre hjerteventrikel sammenlignet med nyfødte og unge giraffer. Yderligere er antallet af cellekerner enormt højt sammenlignet med andre pattedyr, og det tyder på, at det er en tilpasning, som gør de voksne giraffer i stand til at genskabe nødvendige muskelceller.

Studierne har desuden afsløret en pludselig og signifikant indsnævring af blodårerne i giraffens ben, hvor antallet af nerver samtidig er markant forøget. Begge dele kan fungere som en regulerende mekanisme. Endelig viser undersøgelserne, at den store hulvene stedvis er usædvanligt kraftig og muskuløs, hvilket kan indikere, at den er udviklet til at modstå særligt højt tryk. Generelt lader det til, at giraffens kredsløb er opbygget, så det er mere eftergivende og føjeligt over hjertet end under, hvilket netop vil være fordelagtigt i et kredsløb, som er udsat for store trykforskelle og rummer en begrænset mængde blod.

Carsten Nielsen, journalist, Aalborg Universitet. Kilde:http://riverpublishers.com/pdf/ebook/RP_978-87-92329-60-5.pdf

Gammel beton som naturbeskyttelse

Nedrevne betonvægge og gamle ophuggede betongulve kan i fremtiden få nyt liv som anlæg til naturbeskyttelse. Det viser et forskningsprojekt på Syddansk Universitet, hvor forskere ved Biologisk Institut har studeret nedrivningsbetons evne til at binde fosfor. Siden marts i år har forskerne testet metoden i et storskalaforsøg ved Padborg, som skal løbe frem til marts 2014. Men allerede nu kan de konstatere, at metoden er meget effektiv.

Fosfor fra gødning og spildevand er et problem for vandmiljøet, idet det medfører algeopblomstring og derpå iltmangel. Fosforen skylles ud af jorden med regnvandet, og nogle steder opsamles regnvandet i regnvandsbassiner, hvorfra det senere løber ud i søer og vandløb. Forskerne ved SDU har vist, at ved at lade bassinets vand passere gennem et filter af knust beton kan man fjerne op til 90 % af fosforen.

At fosforen binder så godt til beton skyldes, at betonens cement har et højt indhold af kalcium og også indeholder aluminium og jern. Alle tre stoffer kan binde fosfor. Kalcium er primært indkapslet som den stærke base kalciumhydroxid, og når betonen kommer i kontakt med vand, frigives dette stof, hvilket medfører, at fosfor bindes på betonoverfladen som kalciumfosfat.

De foreløbige resultater viser, at betonens kornstørrelse har stor betydning. Jo mindre kornene er, jo bedre bindes fosfor.

Ph.d.-studerende og civilingeniør i miljøteknologi, Melanie Sønderup, i færd med at pumpe vandprøver op fra Syddansk Universitets storskalaforsøg i Padborg.

Foto: Lene Esthave

Forskerne vurderer, at et filter af knust beton kan holde i lang tid, formentlig flere år. Det er i cementen, at den effektive kalcium findes, så det er først når cementen er skyllet væk, at det vil være tid at skifte til et nyt lag af knust beton. Det brugte lag kan så blive genanvendt som vejfyld.

For at undgå, at vandet fra anlægget bliver for basisk ved kontakt med cementen, må forskerne tilsætte en smule syre til vandet den første tid før det udledes til naturen. Efter et halvt års tid er der skyllet så meget cement ud af betonen, at det ikke længere er nødvendigt – og dermed vil et "betonanlæg" altså efter en indkøringsperiode kunne passe sig selv.

Af Birgitte Svennevig, Kommunikationsmedarbejder ved SDU. Kilde: Egemose, S. et al: Crushed concrete as a phosphate adsorbing material. Journal of Environmental Quality, 41:647–653 (2012).

Blåt slik uden kemiske farvestoffer

Nu er der udsigt til, at børn kan spise blåt slik uden at risikere at udvikle allergi. Blåt slik, kager og sodavand er nemlig som bekendt fyldt med syntetiske farvestoffer, men det har indtil videre ikke været muligt at finde et ordentligt naturligt alternativ til blåt farvestof i madvarer. Og det er et problem, fordi det syntetiske farvestof har nogle uheldige bivirkninger, forklarer professor Lars Porskjær Christensen fra Det Tekniske Fakultet på Syddansk Universitet:

»De blå syntetiske farvestoffer er mistænkt for at give allergi og ADHD. Derfor er der et stort ønske om at finde et naturligt alternativ, som er stabilt.«

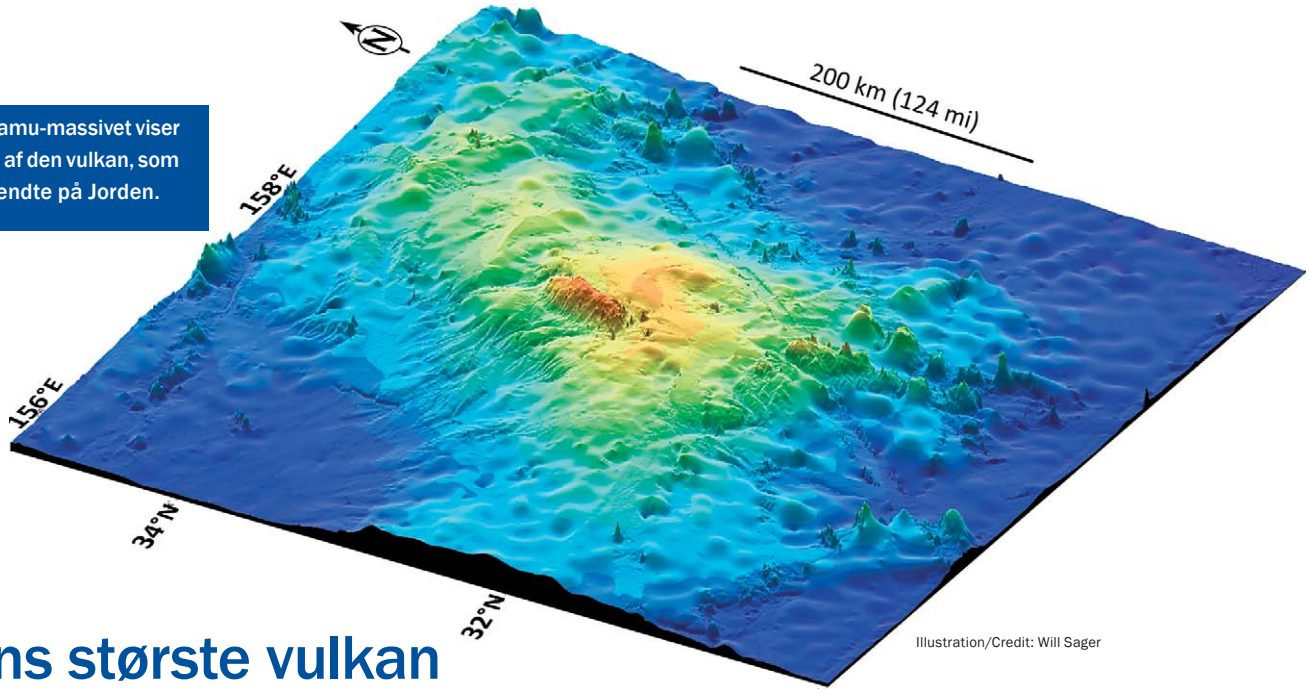
Nu er der taget et stort skridt i den rigtige retning for at løse denne udfordring. Lars Porskjær Christensen har netop søsat et projekt, støttet af Højteknologifonden, som går ud på at erstatte den syntetiske blå farve i fødevarer med blå farve fra blågrønne alger. Han forventer, at fødevareindustrien snart kan lægge de syntetiske farver på hylden.

Foto: Colourbox

»Målet er, at vi helt kan undgå syntetiske farvestoffer i fødevarer. Samtidig ønsker vi at skabe et effektivt produkt, som kan sikre fødevareindustrien konkurrencefordele,« siger han.

Allerede i dag kan man købe spandevis af naturligt farvestof udvundet fra blågrønne alger, men udfordringen bliver at gøre farvestofferne egnet til at farve fødevarer. Før den naturlige farve kan blive en succes, kræver det blandt andet, at farven kan stabiliseres, så de blå ugler kan få netop dén blå farve, som er bolchets signatur.

Af Mette Christina Møller Andersen, Det Tekniske Fakultet, SDU



Et 3D-billede af Tamu-massivet viser form og størrelse af den vulkan, som er den største kendte på Jorden.

Illustration/Credit: Will Sager

Verdens største vulkan

Forskere har for nylig fastslået, at det såkaldte Tamu-massiv på bunden af det nordvestlige Stillehav er den største vulkan, der hidtil er observeret på Jordens overflade. Faktisk er vulkanen så stor, at den kan matche de gigantiske vulkaner på Mars, der er de største kendte i Solsystemet. Tamu-massivet er en såkaldt skjoldvulkan, hvilket vil sige, at den fremstår som et skjold med en stor udbredelse og kun svag hældning af skråningerne. Så på den måde ville man måske ikke blive imponeret over dens størrelse, hvis man kunne tage sig en vandretur op ad den. Ja, faktisk ville man måske næppe bemærke, at det gik opad. Men hvad vulkanen mangler i højde, kan man sige, at den har i drøjde. Den dækker således et område på omkring 190.000 kvadratkilometer – eller hvad der groft sagt svarer til de britiske øer.

Hidtil har man ikke være klar over, om Tamu-massivet var en enkelt vulkan eller et kompleks af flere vulkaner, hvor lava er strømmet ud fra flere forskellige udbrudspunkter. Ved at integrere studier fra flere kilder, bl.a. borekerner og seismiske data, har forskerne kunne vise, at den basaltiske lava, som udgør Tamu-massivets, faktisk kommer fra en enkelt kilde nær centrum. Herfra er det så flydt flere hundrede kilometer, hvilket i sig selv er usædvanligt. Tamu-massivet er en del af en undersøisk, vulkansk bjergkæde kaldet Sahtsky Rise, der er dannet for mellem 145 og 130 millioner år siden. Måske er vulkanen ikke en gang dens største på Jorden, da der findes andre undersøiske vulkanske massiver, der er større endnu. Men man ved endnu ikke, om nogle af disse også består af enkeltstående vulkaner.

CRK, Kilde: Nature Geoscience, doi:10.1038/ngeo1934

Da naturen fik masse

Nobelprisen i fysik er i år gået til "fædrene" til den såkaldte Higgs-partikel.

Årets to nobelpristagere François Englert (tv) og Peter Higgs ved annonceringen af fundet af Higgs-partiklen ved CERN i juli 2012. Englert er belgisk statsborger, professor Emeritus ved Université Libre de Bruxelles. Higgs er britisk statsborger, professor emeritus ved University of Edinburgh.
Foto: CERN

Den 4. juli 2012 mødtes François Englert og Peter Higgs for første gang. Det skete på CERN, da forskere ved LHC-eksperimentet under stor bevågenhed kunne annoncere, at det var lykkedes at påvise Higgs-partiklen. 48 år tidligere havde Englert og Higgs uafhængigt af hinanden fremlagt en teori, der populært sagt reddede partikelfysikkens standardmodel fra at bryde sammen. Opdagelsen af Higgs-partiklen i 2012 var beviset på rigtigheden af deres teori, og belønningen faldt allerede året efter i form af nobelprisen i fysik til de to herrer.

Uden Higgs, ingen masse

Partikelfysikkens standardmodel beskriver kort og godt, hvordan verden er skruet sammen. Den forener naturens fundamentale byggeklodser (elementarpartiklerne) med tre af de fire kendte naturkræfter, elektromagnetismen, den svage kernekraft (der er ansvarlig for radioaktivt henfald) og den stærke kernekraft (der holder protroner og neutroner sammen i atomkernerne). Den fjerde kraft, gravitationen, er udenfor modellen.

Higgs-partiklen er nødvendig for at få det hele til at virke. Uden Higgs-partiklen ville ingen partikler kunne have masse. I stedet ville de ligesom masseløse lyspartikler (fotoner) blot fare gennem rummet med lysets hastighed uden mulighed for at blive indfanget i atomer og molekyler.

Brudte symmetrier

Da årets nobelpristagere trådte ind på scenen i 1960'erne var standard-modellen i krise, fordi den kun kunne fungere, hvis partiklerne ikke havde masse. At partiklerne har masse kan ses som et grundlæggende brud på symmetri i naturen. Så det var altså nødvendigt at forstå dette såkaldte spontane symmetribrud inden for standardmodellens rammer, hvis teorien skulle være holdbar i længden.

Masse kan kun opstå gennem vekselvirkning, og den simpleste måde at "lave" en masse på er ved at bryde symmetrien i vakuum gennem vekselvirkning med et allestedsnærværende felt.

Det var meget kort fortalt den teoretiske løsning på problemet, som François Englert sammen Robert Brout, Peter Higgs og senere flere andre kom frem til. Dette allestedsnærværende felt blev kaldt Higgs-feltet. Da det kunne vises, at denne teori kunne bryde standardmodellens symmetrier uden at hele korthuset så at sige ramlede sammen, blev modellen alment accepteret.

Felter og partikler

Standardmodellen er en såkaldt kvantefelt-teori, hvor felter og partikler er de fundamentale byggeblokke i universet. I kvantefysikken opfattes alting som vibrationer i kvantefelter. Disse vibrationer bæres gennem felterne i små "pakker" – kvanter – som for os fremstår som partikler. Der findes to slags felter: stof-felter med stof-partikler og kraftfelter med kraftbærere, der er de partikler, der formidler interaktionen mellem elementarpartiklerne. Higgs-partiklen kan som sådan opfattes som en vibration i Higgs-feltet.

Higgs-feltet er ikke lige som andre felter i fysikken. Alle andre felter varierer i styrke og falder til nul i deres laveste energiniveau. Men ikke Higgs-feltet. Andre partikler får masse, når de vekselvirker med Higgs-feltet. Partikler, der ikke vekselvirker med Higgs-feltet, har ingen masse, de, der vekselvirker en smule, er lette, mens de, der vekselvirker meget, er tunge.

Man kan sige, at der i princippet også var andre måder, man kunne have "skaffet masse" på end ved vekselvirkning af et felt. Det, der er specielt for Higgs-feltet, er bl.a., at det på en meget elegant måde forklarer, hvorfor de såkaldte W- og Z-partikler (som formidler den svage kernekraft) har masse. ■

Forfatter
Carsten

R. Kjaer
Aktuel Naturvidenskab
red@aktuelnaturvidenskab.dk

Videre læsning:
Af brudt symmetri er du kommet. Nobelprisen i fysik 2008. Aktuel Naturvidenskab nr. 5/2008

Higgs - partiklen der kom ud af ingenting. Aktuel Naturvidenskab nr. 4/2012
www.nobel.se

Kemi i computeren

Ved hjælp af computermodeller kan den moderne kemiker simulere og studere kemiske reaktioner. Grunden til, at det kan lade sig gøre, skyldes banebrydende arbejde af årets tre nobelpristagere i kemi.

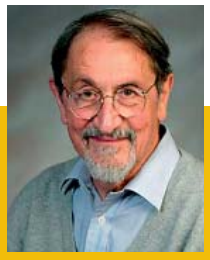
Forfatter

Carsten R. Kjaer
Aktuel Naturvidenskab
red@aktuelnaturvidenskab.dk

Det er en gammel sandhed, at når man stirrer på detaljerne kan helheden let forsvinde ud af syne, mens man omvendt kan glemme de betydende detaljer, når man har opmærksomheden rettet mod det store overblik. Man kan med en vis ret sige, at den problemstilling har en del med årets nobelpris i kemi at gøre. Det handler om computermodeller til at studere kemiske reaktioner – eller mere principielt om at få kvantemekanik og klassisk fysik til at spille sammen i studiet af kemiske reaktioner.

Klassisk eller kvantemekanisk

Kemiske reaktioner foregår generelt ufatteligt hurtigt. Og de molekyler, der indgår i reaktionerne, kan være kæmpestore og indeholde tusindvis af atomer. At redegøre i detaljer for, hvad der foregår i en kemisk reaktion, er således en enorm udfordring. Da de første computermodeller til at regne på kemiske reaktioner blev udviklet i 1960'erne, var de enten baseret på kvantemekanik eller klassisk "Newtonsk" fysik. Programmer baseret på klassisk fysik kunne regne på store molekyler, der var i hvile. Det gav kemikerne en god ide om, hvordan atomerne sad placeret i molekylet. Men disse programmer kunne ikke bruges til at simulere kemiske reaktioner. Under en kemisk proces fyldes molekylerne med energi, hvorved hele den atomare struktur forandres. Klassisk fysik "forstår" simpelthen ikke disse energirige tilstande, hvilket er en alvorlig begrænsning.



Pristagerne

Martin Karplus, 83, er amerikansk og østrigsk statsborger. Pensioneret fra Harvard University, Cambridge, Massachusetts, USA.

Michael Levitt, 66, er amerikansk, britisk og israelsk statsborger. Professor i cancerforskning ved Stanford University School of Medicine, Standford, Californien, USA.

Arieh Warshel, 73, er amerikansk og israelsk statsborger. Distinguished professor ved University of Southern California, Los Angeles, Californien, USA.

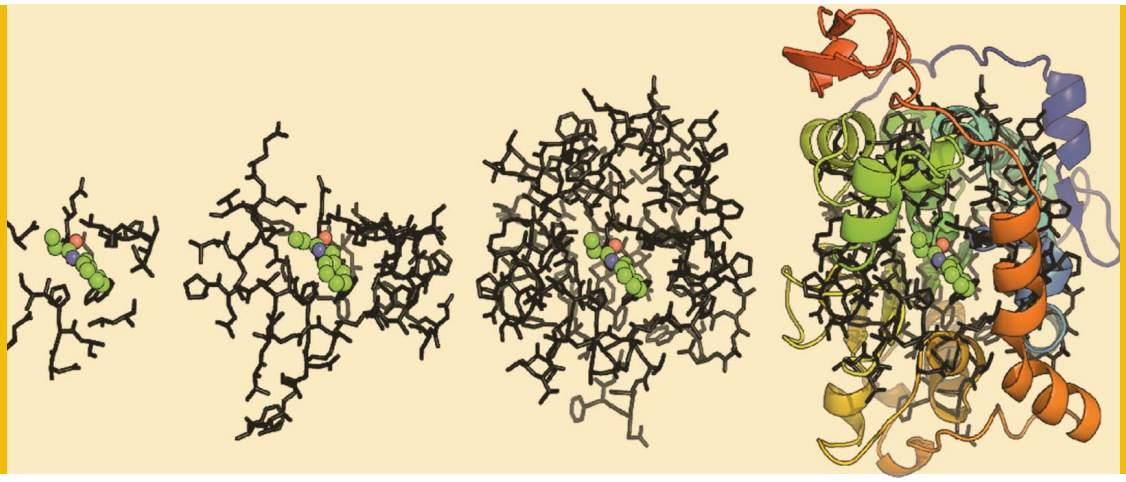
Hvis man vil simulere en kemisk reaktion må man derfor ty til kvantefysikken, som netop beskriver atomernes opførsel på det grundlæggende plan. Styrken af kvantefysikken er, at den kan give meget realistiske simuleringer. Men bagsiden af medaljen er, at det kræver enorm regnekraft at regne på blot få atomer. Computeren må nemlig bogstaveligt talt regne på hver eneste elektron og atomkerne i molekylet. Derfor kunne man kun simulere meget simple reaktioner med de første programmer.

En bro mellem to verdener

Man stod altså med den grundlæggende udfordring, at man måtte vælge imellem det store "fastfrosne" billede eller simuleringer af meget simple detaljer. Løsningen ville ideelt set være at kunne gøre begge ting på en gang – dvs. bygge en bro mellem den newtonske fysik og kvantemekanikken.

Og det er netop var årets tre nobelpristagere i kemi, Martin Karplus, Michael Levitt og Arieh Warshel har gjort. Dermed har de lagt grunden for, at man i dag kan simulere meget komplekse kemiske reaktioner i computeren.

Selv med nutidens computerkraft er det stadig upraktisk at udføre kvantemekaniske beregninger på samtlige atomer i store molekyler som proteiner. Så nobelpristagerne trick har i princippet være at bruge kvantemekaniske beregninger, hvor det giver mest mening og bruge klassisk fysik på resten. For at forstå det, kan vi kigge nærmere på, hvad der foregår i fotosyntesen. Fotosyntesen kan som noget yderst nyttigt spalte vandmolekyler til hydrogen og oxygen ved hjælp af solens energi – noget vi mennesker meget gerne vil kunne efterligne. De proteiner, der styrer reaktionerne, er kæmpestore molekyler med titusindvis af atomer. Et sted midt i det store molekyle findes et såkaldt reaktionscenter – dvs. det sted, hvor vandmolekylerne splittes. Faktisk er det kun få atomer, der er direkte involveret i reaktionen, bl.a. fire mangan-ioner, en calcium-ion og flere oxygenatomer. Det er derfor reaktionerne mellem disse atomer og vandmolekylerne, man først og fremmest



Fra: PLoS ONE 7(12): e49849. doi:10.1371/journal.pone.0049849

Modeller, der kombinerer kvantemekanik og klassisk fysik kan bruges til at studere komplicerede molekyler som enzymer. Jan H. Jensen har sammen med kolleger studeret, hvordan forskellige dele af et enzym påvirker den kemiske reaktion, som enzymet katalyserer. Det gøres ved at fjerne mere og mere af enzymet (fra højre mod venstre) omkring den kemisk aktive del, som er de farvede kugler i midten.

skal regne på, hvis man vil vide noget om det, der virkelig betyder noget.

Moderne computersimuleringer af kemiske reaktioner foregår altså i flere lag. De tunge kvantemekaniske beregninger forbeholdes de elektroner og atomkerner, der direkte er involveret i den kemiske proces. Atomerne i de andre dele af molekylet modelleres ved hjælp af ligninger fra klassisk fysik. Som et tredje lag kan forskerne simulere større klumper af atomer og molekyler, der befinder sig langt væk fra den kemiske proces, ved at betragte dem som en homogen masse – i forskersprog kaldet et dielektrisk medium.

Frugtbart samarbejde

Nobelpristagernes fælles vej mod hæder og ære startede i begyndelsen af 70'erne. Arieh Warshel og Michael Levitt havde sammen udviklet et banebrydende program baseret på klassisk teori, som kunne regne på selv meget store biologiske molekyler. Warshel tog dette program med sig til Martin Karplus' laboratorium på Harvard. I 1972 kunne de publicere et program, hvor de som de første i verden havde fået kvantemekanik og klassisk fysik til at spille sammen på en kemisk relevant måde. Programmet havde dog den begrænsning, at det kun kunne behandle molekyler med såkaldt spejlsymmetri.

Efter to års arbejde med Karplus, slog Warshel igen pjalterne sammen med Michael Levitt, hvor de satte sig det ambitiøse mål at udvikle et program, der kunne bruges til at studere reaktioner med enzymer.

Det mål nåede de i 1976, hvor de kunne publicere den første computermodel af en enzymatisk reaktion. Deres program var revolutionerende, idet det kunne bruges til at studere alle slags molekyler.

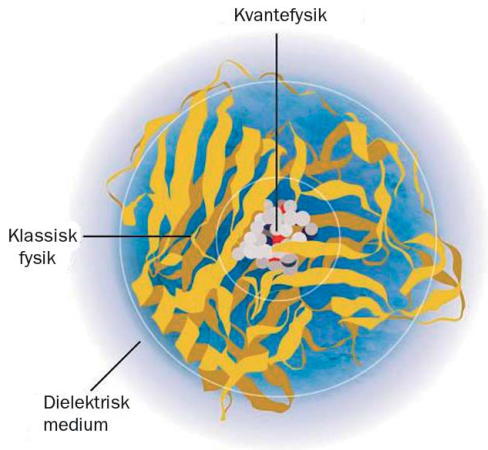
I det hele taget er styrken ved de metoder, nobelpristagerne har udviklet, at de er universelle. De kan bruges til at studere alle former for kemi, uanset om det handler om studier af komplicerede biologiske molekyler, eller industrielle kemiske processer.

En svær fødsel

Som man har set mange eksempler på, mødte nobelprisvindernes ideer modstand på vejen mod anerkendelse. Således fortæller Arieh Warshel i et interview med Reuters, at ingen af hans artikler er blevet publiceret uden i første omgang at være blevet afvist af tidsskrifterne. Og Karplus har beskrevet, hvordan mange af hans kolleger i de tidligere 1970'ere anså hans brug af computere i forskningen som det rene spild af tid.

I dag er der ingen, der stiller spørgsmålstegn ved værdien af de ideer, nobelpristagerne har fostret. Metoder baseret på disse ideer anvender man i dag på de fleste større kemiinstitutter, fortæller Jan H. Jensen, der er professor ved Kemisk Institut ved Københavns universitet. Han arbejder selv med computermodeller, der kombinerer kvantemekanik og klassisk mekanik. Bl.a. arbejder han med Novozymes på at bruge lignende metoder til udvikling af nye enzymer, og han er også i kontakt med Lundbeck med henblik på at bruge metoderne i forbindelse med udvikling af lægemidler.

Jan H. Jensen vurderer, at det næste skridt i udviklingen sandsynligvis bliver metoder, hvor flere og flere atomer beskrives kvantemekanisk for at øge nøjagtigheden af udregningerne. ■



Moderne computermodeller til at regne på kemiske reaktioner deler populært sagt opgaven op i flere lag. Der, hvor selve reaktionen foregår, regner man på de enkelte elektroner og atomkerner med kvantemekanik. Andre atomer regner man på med klassisk mekanik, og atter andre behandles samlet som et såkaldt dielektrisk medium.

Grundstoffer sætter grænser...

Verden skriger på miljøvenligt, bæredygtigt brændstof. Men hvilke grundstoffer kan vi egentlig gøre brug af, når det kommer til stykket? En tur igennem det periodiske system fortæller, at mulighederne er begrænsede.

Forfatter

Jes Andersen, Videnskabsjournalist, Kemisk Institut Københavns Universitet.
jean@science.ku.dk

Hver gang vi tænder motoren i et transportmiddel, bidrager vi en lille smule til klimaændringer. Hvad enten vi kører bil, bus eller motorcykel, brænder vi i dag fossilt brændstof af. Brændstof, der brydes ned til blandt andet CO_2, som medvirker til global opvarmning. Vi er nødt til at opfinde et grønt alternativ til fossile brændstoffer som diesel og benzin, men det er ikke så let som det lyder at finde alternativet.

I 2010 udkom en rapport fra Regeringens Klimakommission. Kommissionen skrev, at biobrændsel bør være et af de bærende elementer, når vi stiller om fra fossil energi til bæredygtig transport. Det lyder enkelt. Man kunne for eksempel blande frugt med gær, så har man sprit. Men hvis biobrændsel skal være bæredygtigt må det ikke fremstilles af noget, man kan spise. Der er altså et behov for, at vi finder en helt ny vej frem til biobrændsel. En kemisk syntesevej.

Transportabelt, energitæt og nemt at håndtere

Uanset, om vi vil med bil eller bus, færge eller fly, skal vort transportmiddel have brændstoffet med om bord. Det skal altså være transportabelt. For at det hele giver mening, skal transportmidlet have plads til både brændstof, last og passagerer. Derfor skal brændslet indeholde en høj mængde energi pr. kilogram brændsel.

Brændslet skal også være nemt at fylde på, opbevare og føre ind i motoren. Derfor skal det være enten en væske eller gas. Det duer ikke med et fast stof. Men det er vigtigt, at det flydende eller gasformige brændstof er uskadeligt, og at det ikke reagerer med andre stoffer, når det ligger i sin tank, hvor temperatur og trykforholdene er normale.

Masser af krav, få udgangspunkter

Når man har brændt brændstoffet af, må udstødningsgasserne ikke være giftige eller på anden måde skadelige, og de må heller ikke kunne reagere med andre stoffer, så der opstår skadelige stoffer. Endelig er det vigtigt, at vi kan få tilstrækkelige mængder af brændstoffet. I dag bruger vi ca. seks millioner tons brændstof om dagen på verdensplan. Alternativet til de fossile brændsler skal kunne fremstilles nemt, billigt og hurtigt, for at kunne følge med behovet. Og som en sidste detalje: Selve fremstillingen af biobrændslet skal også være både grøn og bæredygtig.

Vort fremtidige brændsel skal enten være et grundstof eller en kemisk forbindelse som er en kombination af atomer fra det periodiske system. Der er uendelig mange måde at sætte atomer sammen på. Men det er ikke alle grundstofferne, der er egnede som udgangspunkt for et nyt, grønt og bæredygtigt biobrændsel.

for grønt brændstof

Kunstige stoffer med dårlig holdbarhed

Der er 112 grundstoffer, men ud af dem er de 24 kunstige. Det vil sige, at de er fremstillet i forskernes laboratorier, og de fleste er aldrig nået længere. Blandt andet fordi de er svære at fremstille, kun kan fremstilles i meget små mængder, og holder op med at eksistere efter uhyre kort tid.

Et af de grundstoffer, der næsten ikke eksisterer, er bohrium. Det er opkaldt efter den danske fysiker Niels Bohr, og det længste tidsrum, stoffet har eksisteret, er 17 sekunder. Med den levetid kan man knap nå at trille ud af parkeringspladsen.

Technetium var det første kunstige grundstof, der blev fremstillet. Og det kan faktisk fremstilles i rimelige mængder og holde sig i tilstrækkeligt lang tid til at kunne bruges til noget. Blandt andet til strålebehandling mod cancer. Til gengæld er det radioaktivt, og det er heller ikke en egenskab, man efterspørger i sin benzintank.

Radioaktive grundstoffer er dårlige for helbredet

Når de kunstige grundstoffer er trukket fra, er der 88 tilbage. Af dem er der 7, vi ikke bruger, fordi vi ikke tør. Det er de naturligt radioaktive. Uran kender de fleste som det usunde grundstof, der bruges i atomkraftværker og bomber. Men alle de radioaktive grundstoffer er sundhedsfarlige, og det blev opdaget kort efter, at stofferne selv blev opdaget.

Det første radioaktive grundstof, der blev opdaget, var radium. Marie Curie, der opdagede stoffet sammen med sin ægtemand Pierre, endte med at dø af en strålingsrelateret sygdom, fordi hun havde rørt så meget ved stoffet. Et andet stof, som de to opdagede, polonium, blev berømt og berygtet i 2006, da den tidligere russiske spion Alexander Litvinenko blev snigmyrdet med en lille dosis af isotopen pollonium-210 af det radioaktive grundstof.

Fra grundstoffer til grøn og bæredygtig. Kemistuderende lærer ruten.

Foto: Lennart Søgård-Høyer

Trækker vi også de radioaktive grundstoffer ud af den bunke, vi kan lave brændstoffer med, er der 81 tilbage.

Ædle, dovne og kostbare

For at få energi ud af grundstoffer er det nødvendigt, at de gennemgår en form for reaktion. Derfor duer ædelgasser ikke. Ædelgasserne kaldes også inerte, og det betyder egentlig doven. Det skulle man ikke tro, når man ser en heliumballon stige til vejrs fra en forlystelsespark, men de inerte ædelgasser vil meget nødigt reagere med noget som helst andet grundstof. Ædelgassen krypton vil ikke en gang reagere med elektrisk strøm. Blandt andet derfor bruger man grundstoffet til at fylde i elektriske pærer. Trækker man de seks ædle men ubrugelige gasser fra, er der 75 grundstoffer tilbage.

Et brændstof, der skal bruges i store mængder, kan naturligvis heller ikke laves af grundstoffer, der er alt for kostbare. Derfor ryger sølv, guld og platin ud af overvejelserne. Og med dem resten af ædel-

Computeren beregner nedbrydning af biobrændsel

Biobrændsler består typisk af brint, ilt og kulstofatomer. $CH_3C(O)OCH_3$ er et eksempel på en model for en biodiesel. På vej op gennem atmosfæren møder molekylet de såkaldte hydroxyl-radikaler, OH.

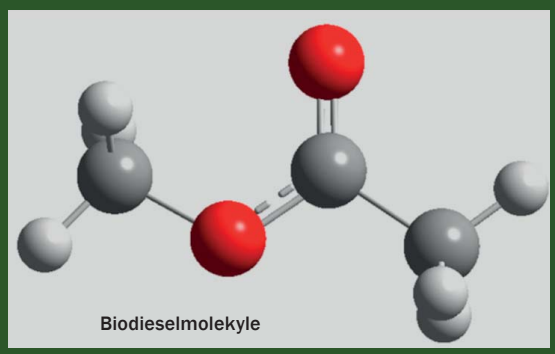
Radikalerne kaldes ofte "atmosfærens støvsuger". Eftersom de har en uparret elektron, vil de gerne reagere med alle organiske molekyler. Hvis det organiske molekyle er umættet (dvs. ingen dobbeltbindinger i mellem kulstofatomerne), så stjæler OH et brintatom i det organiske molekyle.

Når molekylet $CH_3C(O)OCH_3$ går i stykker i mødet med hydroxyl-radikaler, brækker der typisk et brintatom af enten i højre eller i venstre side af molekylet. Det er afgørende for de videre reaktioner, hvilken side af molekylet der mister et brintatom.

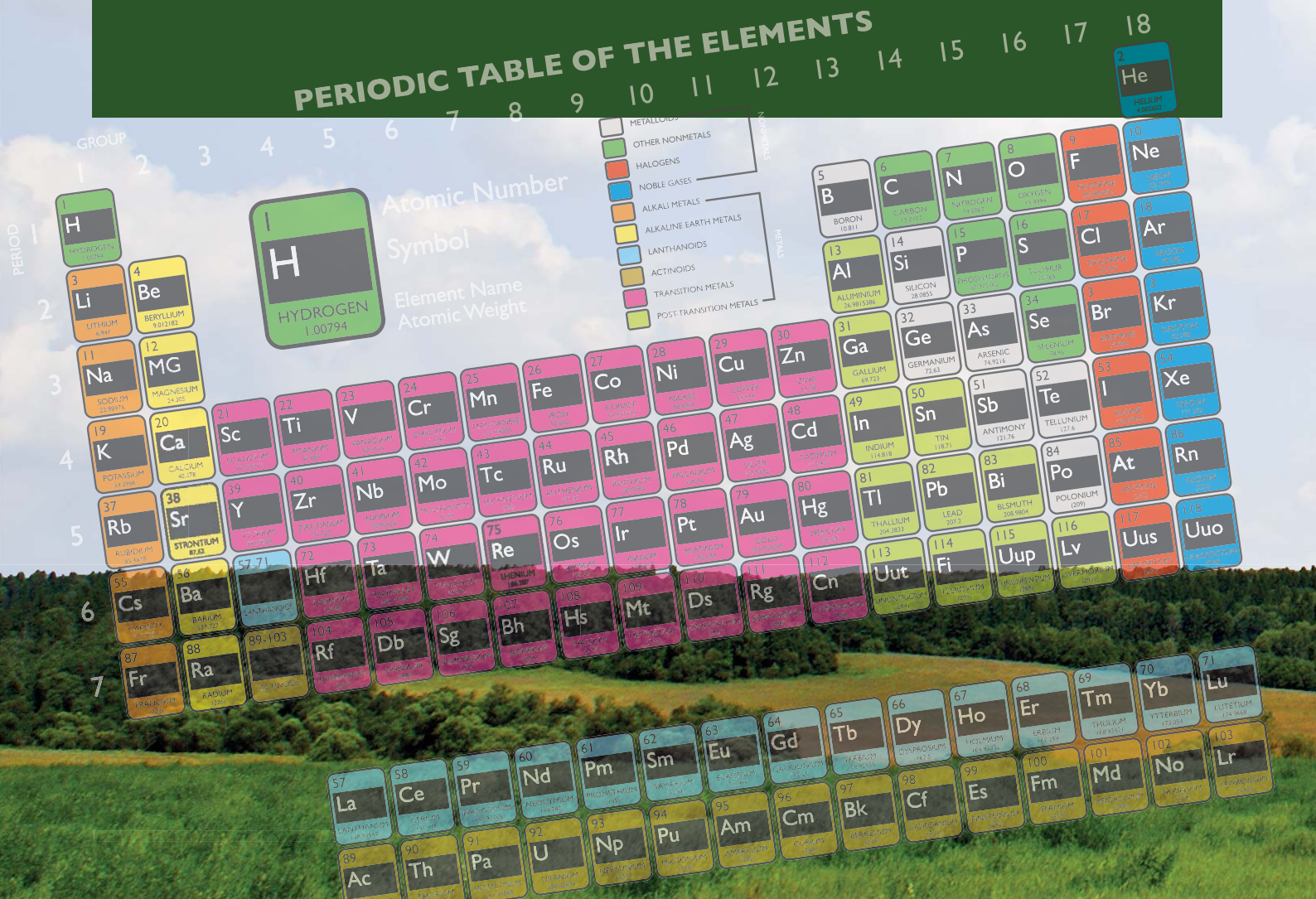
Derfor bruger Solvejg Jørgensen først kvantemekaniske beregninger til at fastslå reaktionens termodynamiske egenskaber. Ved at bruge statistisk mekanik på de termodynamiske egenskaber, kan hun beregne sandsynlighederne for, hvilken side der mister et brintatom.

Når hun har beregnet, om molekylet mister et brintatom til højre eller venstre, kan hun også forudsige, hvad der videre sker med molekylet, når det nedbrydes i atmosfæren. Her sker der en række reaktioner, som først starter med en reaktion med dioxygen (O_2), dernæst oftest med nitrogenoxid (NO) osv. I den atmosfæriske nedbrydning af biodiesel kan der for eksempel dannes carboxylsyre, der kan udgøre grundlaget for partikeldannelse. Der kan også dannes sundhedsskadelige stoffer som aldehyder og syreanhydrider.

Solvejg Jørgensen er en af de kemikere, som beviser, at nuller og ettaller kan erstatte kolber og reagensglas i mange sammenhænge.



Biodieselmolekyle



metallerne. Hverken palladium, der er efterspurgt til kemisk katalyse, osmium, der er ekstremt hårdt eller kviksølv, der er uhyre giftigt. Til gengæld er der ikke særligt mange ædelmetaller. Kun ni skal der trækkes ud af bunken. Så nu er vi nede på 66.

Rottegift og blyforgiftning

Giftighed er i øvrigt en kvalitet, der også skal tages med i overvejelserne, når man laver et stof, der skal brændes af i en motor. Derfor må vi luge ud i det periodiske system endnu en gang.

Beryllium bruges i produktionen af kirurgiske instrumenter, og det smager sødt. Men det er voldsomt giftigt. Arsenik blev i gamle dage brugt til at behandle syfilis, men i dag ser man det primært i rottegift. Så det skal væk. Bly brugte man i oldtiden til at lave vandrør af, men da man opdagede, at det var giftigt, gik man væk fra det. I det hele taget er tungmetaller generelt giftige. Fra vanadium over tallium og osmium til krom, cadmium, barium og antimon. Sammen med det noget lettere, men lige så giftige aluminium, er der endnu 12 grundstoffer, der skal trækkes fra. Så er vi nede på 54.

Mens vi er ved metallerne kan vi lige så godt skille os af med alle de andre letmetaller (15 stykker fra lithium til aluminium) de magnetiske grundstoffer (tre metaller og fire sjældne jordarter) og resten af metallerne. Det bringer os ned på 14. Og mens vi er i gang, kan vi lige så godt skille os af med de fire halogener, vi ikke allerede har smidt ud. De er nemlig også giftige. Lige som klor kan silicium ikke brænde, så det kan vi også skrotte. Og så var der otte.

Højt energiindhold, men lav anvendelighed

Boron har et ret højt energiindhold, og det bruges da også i raketbrændstof. Men det er vanskeligt at fremstille, så det er for dyrt til bilbrændstof, og så var der syv. Svovl brænder fint, men der er ikke særligt meget energi i det. Fluor og fosfor vil gerne begynde at brænde af sig selv, lige som nitrogen, der er en populær ingrediens i sprængstoffer, men vi vil ikke have brændstoffer, der eksploderer, og så var der tre.

Ilt skal godt nok være til stede, for at man kan få en forbrænding til at forløbe, men 21 procent af den luft vi indånder, består af ilt. Når ilt nu findes overalt i atmosfæren, er der ingen grund til at bruge energi på at transportere det. Så ilt vil vi heller ikke have som bestanddel af vores brændstof.

De gamle kendinge

Og så var der to. Brint og kul. Hydrogen og carbon. Sjovt nok de samme to grundstoffer, der udgør grundstammen i diesel, benzin, sprit og alle andre eksisterende former for flydende brændstof til biler. Kunsten bliver nu at sætte de to grundstoffer sammen på en ny måde, og gøre det hurtigt, billigt og i enorme mængder.

Biobrændsel består af meget store molekyler, så selv om der kun er to grundstoffer at lege med, kan biobrændsel produceres på næsten uendeligt mange forskellige måder. Men vi skal være forsigtige.

Vælger vi den forkerte fremstillingsmetode, bliver brændstoffet skadeligt for både miljø og folkesundhed, for de store molekyler kan også gå i stykker på uendeligt mange måder. I værste fald kan vi risikere at få nedbrydningsprodukter som sundhedsskadeligt smog, kræftfremkaldende partikler og det giftige stof formaldehyd ud, når biobrændslet er brændt af i motoren. Enten så snart det kommer ud af udstødningsrøret, eller også oppe i atmosfæren, efterhånden som udstødningen reagerer med stoffer, den møder der.

Sikrere at brænde benzin af i harddisken

For at finde den rigtige produktionsmetode til biobrændsel skal kemikerne afprøve tusinder af forskellige variationer og det kan tage måneder hver gang, man efterprøver en ny syntesevej. Som kemiker kan man altså nå at spilde utroligt meget tid, hvis man skal vente med at teste biobrændslets giftighed, til det er produceret. Heldigvis findes der metoder til at spå om, hvordan brændslet bliver brudt ned.

På Kemisk Institut ved Københavns Universitets har lektor Solvejg Jørgensen udviklet computerprogrammer, der kan bruges til at forudsige nøjagtigt, hvordan et biobrændselsmolekyle vil blive nedbrudt, når udstødningen rejser op gennem atmosfæren. Det kan gøres uden at tilbringe et sekund i laboratoriet og uden at producere en dråbe af det nye biobrændsel, og det vil bane vejen for hurtigere, billigere og frem for alt sikrere udvikling af de vigtige grønne og bæredygtige alternativer til klimaskadelige fossile brændstoffer. ■

Læs mere

www.ki.ku.dk/formidling/Nyheder/Nyhedssamling/giftig_biobraendsel_forudsiges_kopi/

www.ki.ku.dk/formidling/Nyheder/Nyhedssamling/loleggio_biobraendsel/

Organisk energiteknologi på vej frem

Organisk energiteknologi er et varmt forskningsområde, som bl.a. søger at udvikle billige og fleksible solceller og lyskilder, der kan erstatte nuværende teknologi på området.

Forfatterne:

Morten Madsen er adjunkt madsen@mci.sdu.dk

Jakob Kjelstrup-Hansen er lektor jkh@mci.sdu.dk

Begge ved NanoSYD Mads Clausen Instituttet Syddansk Universitet

Optoelektroniske komponenter som solceller og lysdioder er i dag typisk baseret på uorganiske halvledermaterialer som silicium eller galliumarsenid. Men fremtidens energiteknologi vil uden tvivl blive mere "organisk". Mange forskere arbejder således med at udvikle elektroniske komponenter, der er baserede på organiske tyndfilm – dvs. tynde lag af kulstof-materialer med specielt designede optiske og elektriske egenskaber. De organiske tyndfilm har nogle åbenlyse fordele sammenlignet med deres uorganiske modstykker. Med organiske tyndfilm er det muligt at fremstille solceller eller lyskilder, der er mekanisk fleksible, ultratynde og delvist gennemsigtige. Desuden er de potentielt billigere at producere. Det åbner op for helt nye måder at integrere enhederne på, da disse egenskaber fx vil gøre det muligt at fremstille papirtynde solceller eller lyskilder, der kan rulles ud.

En oplagt mulighed vil være at integrere sådanne enheder i vinduer, da man kan fremstille solceller, der er gennemsigtige for den synlige del af lysspektret og primært absorberer det infrarøde lys. Dermed vil vinduerne kunne producere strøm, uden at det går væsentligt ud over lysindfaldet. På samme måde kan man fremstille farverige celler, der designes efter bygningen, de sidder på. Ligeledes vil lyskilder kunne integreres i vinduer og gennem intelligent styring sørge for et konstant lysindfald fra vinduet – uafhængigt af, om det er solskin eller gråvejr.

Trods de åbenlyse fordele er der stadig teknologiske udfordringer, der skal løses, før de organiske energiteknologier for alvor kan vinde indpas. Enhederne har således generelt en lavere effektivitet og en begrænset levetid i forhold til de enheder, der anvender de uorganiske halvledermaterialer, som typisk anvendes på markedet i dag. Grundet en intensiv forskningsindsats verden over er der dog sket væsentlige fremskridt de senere år, og fremtiden er nu lysere end nogensinde for organisk-energiteknologi.

Organiske tyndfilm – grundstenen i organisk energiteknologi

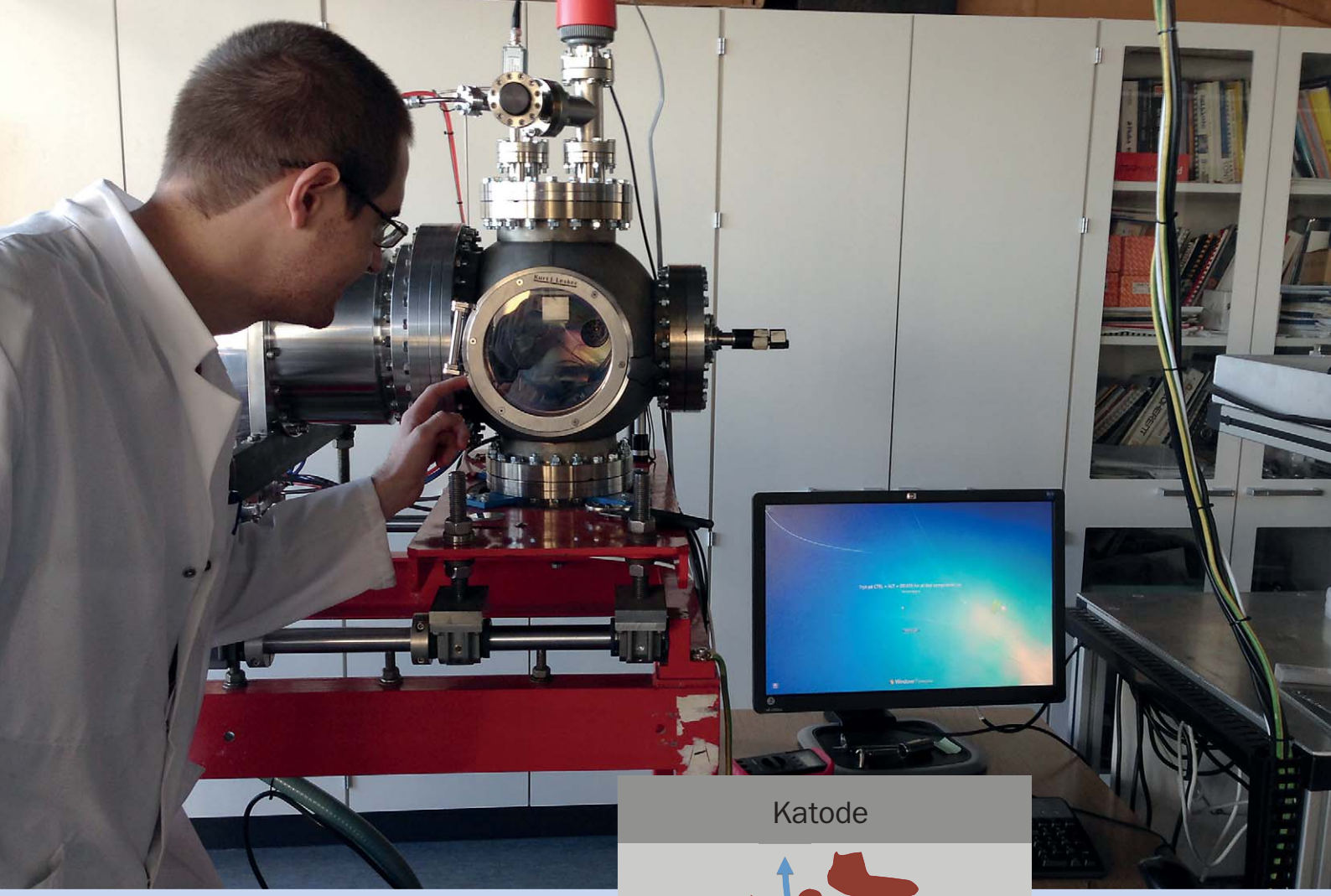
Hvad enten det drejer sig om fremstilling af organiske solceller eller lyskilder er grundstenen i komponenterne de organiske tyndfilm, der i begge tilfælde har elektrisk kontakt til to elektroder. Tyndfilmen kan enten bestå af polymerer eller små organiske molekyler, der kan påføres enten ved pådampning eller fra en opløsning vha. såkaldt spin coating eller en print-teknologi. Lagene er typisk ikke tykkere end ca. 100 nm, hvilket er cirka tusind gange tyndere end et ark papir.

I solceller skal den ene af elektroderne som minimum være transparent, så det indkomne lys kan trænge igennem. Det er også muligt at lade begge elektroder være transparente, hvilket giver solceller der er delvist gennemsigtige.

Organiske solceller

De organiske tyndfilm, der indgår i solceller, består af en blanding af to materialer, der fungerer som hhv. elektron-donor og elektron-acceptor. Når lyset absorberes i tyndfilmen vil der dannes et såkaldt elektron-hul-par, som kan opsplittes til frie elektroner og frie huller i de to forskellige lag. Således donerer elektrondonor-laget elektroner til elektronacceptor-laget i grænsefladen mellem de to materialer, hvor opsplitningsprocessen finder sted. De frie ladningsbærere – dvs. elektronerne og hullerne – transporteres herefter til hhv. top- og bundelektroden, hvor de opsamles og der dannes elektrisk energi.

En af de største udfordringer i omdannelsen af lys til elektrisk energi i organiske solceller er at opnå en



↑ **Pådampningsanlæg til fremstilling af organiske solceller og lystransistorer hos NanoSYD. De organiske tyndfilm pådampes ved at opvarme materialet i højt vakuum, hvilket giver ultra-rene organiske lag. Fremstilling af elektroderne foregår ligeledes ved termisk pådampning.**
Fotograf: Morten Madsen

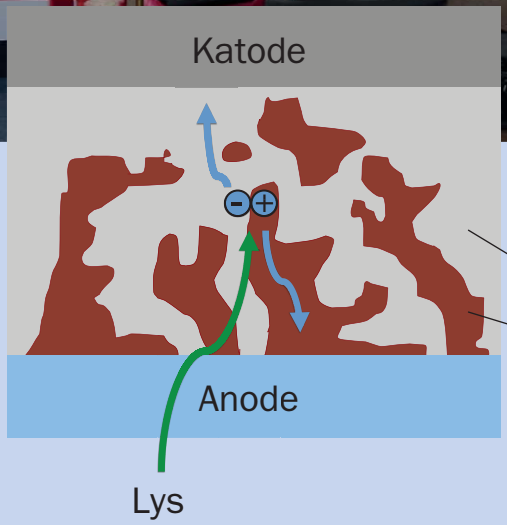


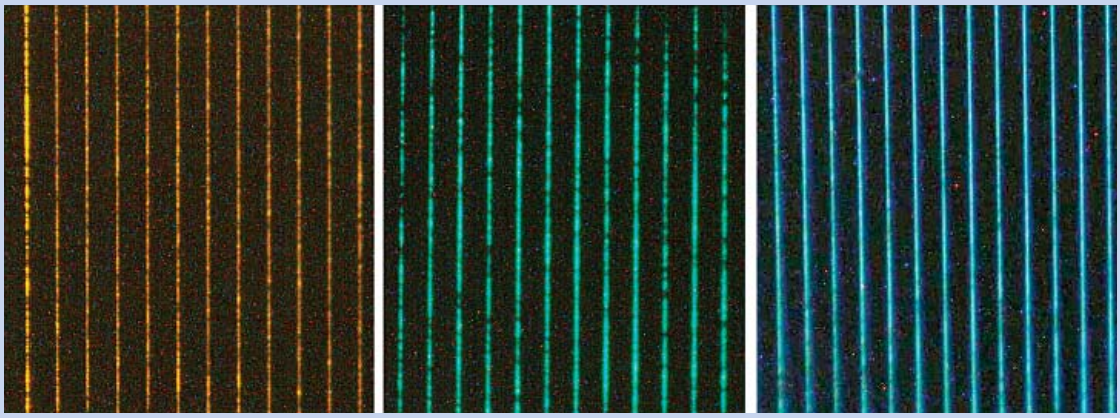
Illustration af processen hvorved et dannet elektron-hul-par skaber elektrisk energi i en organisk solcelle.

effektiv opsplitning af elektron-hul-par til frie elektroner og huller og samtidig få de dannede frie ladningsbærere transporteret effektivt til elektroderne. Det skyldes, at elektron-hul-par har en meget kort levetid og derfor skal opsplittes kort tid efter, de er dannet, da de ellers vil henfalde, og den absorberede energi vil gå tabt.

Hurtig opsplitning kan opnås ved at fremstille en organisk tyndfilm med meget små domæner (nanostrukturer) af det elektrondonerende og det elektronaccepterende lag. Ved at opdele tyndfilmen i små domæner får man en stor grænseflade mellem de to materialer og dermed også et stort areal, hvor opsplitning af elektron-hul-par kan finde sted. Domænerne, der dannes af de to materiale-typer, skal dog samtidig udformes således, at de frie elektroner og huller kan transporteres igennem deres respektive materiale-type og opsamles af elektroderne. Det giver store udfordringer i produktionen af de organiske tyndfilm. Selvom der er opnået store forbedringer på dette område, forskes der stadig i at optimere den interne struktur i organiske solceller, så effektiviteten af solcellerne øges.

Øget effektivitet

En af metoderne til at øge cellernes effektivitet er at fremstille tyndere celler, hvorved de dannede elektroner og huller skal transporteres en relativt kort afstand for at kunne opsamles af elektroderne. Det har dog den ulempe, at en mindre del af lyset vil blive absorberet af de tynde lag, og man må derfor ty til andre strategier for at indfange lyset i cellen. Hos NanoSYD forsker vi bl.a. i at integrere lysindfangende nanostrukturer i cellen, og vi har fremstillet fleksible solceller med en samlet tykkelse på omkring 10 µm (inklusiv substrat) med integrerede diffraktions-gitre i cellerne til forøgelse af lysabsorptionen i de organiske tyndfilm. Diffraktionsgitrene sørger for, at lys med bestemte bølgelængder spredes, når det rammer gitrene, og dermed øges dets optiske vejlængde i cellernes aktive organiske lag. Lysets øgede optiske vejlængde gør, at en større del af lyset vil blive absorberet i cellerne.



↑ **Fleksible organiske solceller med en samlet tykkelse på omkring 10 µm fremstillet hos NanoSYD. Solcellerne har integrerede diffraktionsgitre til forøgelse af lysabsorptionen og dermed cellernes effektivitet.**

Til højre: Organiske lyskilder fremstillet hos NanoSYD baseret på tre forskellige tyndfilmsmaterialer, hvilket giver hhv. rødt, grønt og blåt lys.

Arbejdet med at optimere materialernes elektriske og optiske egenskaber samt tyndfilmens indre struktur har de seneste år væsentligt forøget de organiske solcellers effektivitet. De bedste laboratoriefremstillede organiske solceller i dag har en effektivitet på 12 %, hvilket er en fordobling i forhold til rekorden for fem år siden. Til sammenligning har kommercielle silicium-solceller i dag en effektivitet på op imod 20 %, men disse har også mere end 30 års udvikling bag sig.

Organiske lystransistorer

Et andet hastigt voksende felt er organisk lysteknologi, hvor organiske tyndfilm benyttes som et materiale, der udsender lys. Typisk indgår en eller flere organiske tyndfilm i en sandwich-struktur med top- og bundkontakter, som tilsammen danner en såkaldt organisk lysdiode eller *OLED* (fra engelsk: *organic light-emitting diode*). I display-industrien vinder OLED-skærme frem og mange smartphones har i dag en OLED-baseret skærm, og også større OLED-enheder til fladskærms-tv er på trapperne. Det næste store område for OLED-teknologi forventes at blive til belysning, hvor man i dag bruger fx halogenpærer eller (uorganiske) lysdioder.

En organisk lysdiode virker ved, at når den påtrykkes en spænding, dannes der elektron-hul-par i den organiske tyndfilm, der efterfølgende omdannes direkte til lys. Farven på lyset kan justeres ved at ændre sammensætningen af de organiske molekyler i lysdioden. På den måde opnår man en naturlig farve lys, når man kombinerer materialer, som udsender lys i forskellige farver.

Hvor de organiske lysdioder forventes at slå igennem inden for belysningsområdet indenfor få år, er det dog muligt, at de hurtigt vil blive udkonkurreret af de såkaldte organiske lystransistorer. Det skyldes bl.a., at en høj effektivitet kræver ladningsbærer-balance. Det betyder, at omtrent det samme antal elektroner og huller skal transporteres til den organiske tyndfilm, hvor de kan mødes og danne elektron-hul-par, som omdannes til lys. I en transistor er der en såkaldt gate-kontakt, som gør det muligt at kontrollere strømmen gennem det organiske materiale mere præcist ved at styre elektron- og hul-strømmen uafhængigt af hinanden og dermed opnå den ønskede ladningsbærer-balance. Det har gjort det muligt at opnå meget energieffektive lystransistorer, som har potentiale til at konkurrere med de konventionelle belysningsteknologier. Lystransistorerne er dog indtil videre kun på laboratorie-stadiet, og der ligger derfor fortsat et stort arbejde forude inden de vil være at finde på butikkernes hylder. Ved NanoSYD forsker vi også i at optimere organiske lystransistorer ved brug af organiske nanokrystaller, som pga. deres krystalstruktur har forbedrede elektriske egenskaber.

På vej mod en kommerciel teknologi

En stor del af udfordringen i at få organiske solceller og lystransistorer til at slå igennem på det kommercielle marked ligger i at kunne fremstille enhederne på større skala og forbedre deres levetid. Netop disse to aspekter skal to nye forskningsprojekter ved NanoSYD dykke ned i. Projekterne er henholdsvis et europæisk ph.d. netværk, hvor der oprettes 14 nye ph.d.-projekter indenfor organisk energiteknologi og et internt SDU projekt, hvor kompetencer og udstyr indenfor organisk energiteknologi samles i en nyoprettet forskningsenhed. Til formålet vil der blive opsat et større pådampningsanlæg, som kan fremstille effektive organiske solceller og lystransistorer på større skala.

Vi vil samtidig undersøge og optimere levetiden af de producerede enheder ved detaljerede studier af de nedbrydningsmekanismer, der er på spil, og som giver de organiske komponenter en forholdsvis kort levetid. Med optiske karakteriseringsteknikker vil vi kunne kortlægge, hvordan nedbrydningen foregår og dermed give ideer til, hvordan man kan modvirke de nedbrydende mekanismer i fremtiden.

Projekterne foregår i samarbejde med europæiske universitetspartnere og med nationale og internationale virksomheder. Målet er dels at gøre vejen mod kommerciel organisk energiteknologi kortere, og dels at uddanne kvalificerede forskere indenfor et område, der på mange måder går en lys fremtid i møde. ■

Videre læsning

www.sdu.dk/nanosyd/

Hansen et al. Nanotechnology, 24, 145301 (2013)

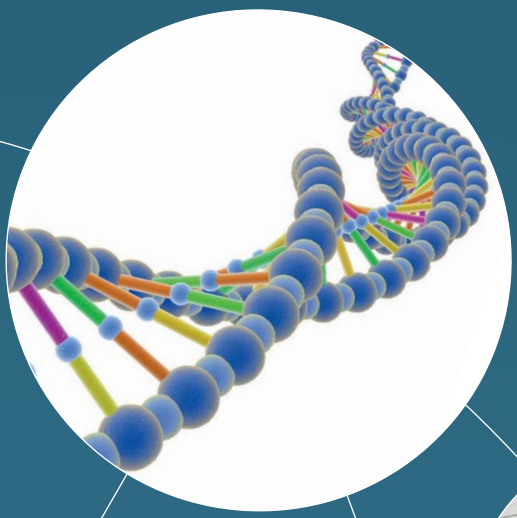
Liu et al. Organic Electronics, 11, 1096 (2010) og Organic Electronics, 12, 1724 (2011)

KØBENHAVNS UNIVERSITET

FREMTIDENS NATURVIDENSKAB FOR GYMNASIELÆRERE

Københavns Universitet inviterer naturfagsundervisere i gymnasiet til en gratis inspirationsdag med temaet "Vejen til fremtiden". Kom og bliv opdateret på den nyeste natur- og sundhedsvidenskabelige forskning.

Du tilbringer dagen i selskab med en række førende forskere, der vil tale om de seneste landvindinger inden for kvantemekanik, neurologi, molekylær elektronik, biomedicin og geogenetik. Du får desuden inspiration til din egen undervisning i en af dagens 14 workshops med temaer som fx menneskets evolution, matematiske eksperimenter eller digital og virtuel undervisning.



Inspirationsdagen finder sted d. 31. januar 2014. Deltagelse er gratis, og tilmelding sker efter først til mølle-princippet.

Tilmeld dig og læs mere om dagens program på

www.inspirationsdag.ku.dk

"Sparsom **sampling**"
– en ny **digital**revolution?

Forskere og ingeniører arbejder på at anvende nye lovende digitaliseringsteknikker til fx trådløs kommunikation og medicinsk billeddannelse. Det nye i teknikkerne er, at de bryder med et klassisk princip om, hvordan man oversætter kontinuerte signaler til digital information.

Forfatterne

Tobias Lindstrøm Jensen er post-doc Institut for Elektroniske Systemer Aalborg Universitet
E-mail: tlj@es.aau.dk

Carsten R. Kjaer
Aktuel Naturvidenskab
red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hvis du er typen, der kan finde på at se en klassisk western, kan du sikkert genkalde dig en sekvens med en diligence, der sætter i fart, og pludselig ser det ud som om hjulene kører baglæns. Det fænomen fortæller noget grundlæggende om udfordringerne ved digitalisering. Film optages med et bestemt antal billeder pr. sekund, og dermed bliver virkelighedens ubrudte bevægelse delt op i et antal stillbilleder, hvor bevægelsen foregår i hak. Og når hjulet på diligencen kører rundt med en hastighed, hvor hjulet næsten er nået en omgang rundt pr. billede – men ikke helt – ser det ud som om egerne på hjulet langsomt bevæger sig i modsat retning af kørselsretningen.

Hjul, der ser ud til at køre baglæns på film, kan vi opfatte som en pudsighed. Men hvis man ønsker en så nøjagtig gengivelse af virkeligheden som muligt, kan et hjul, der ser ud til at køre baglæns, anses som en uacceptabel fejl ved den måde, man laver filmen på. Den samme problemstilling kan findes indenfor alle andre områder, hvor man digitaliserer information – fx indenfor billeder, lyd eller trådløs kommunikation.

Sampling

Digitalisering går principielt ud på at oversætte den kontinuerte fysiske verden – som hjulet, der kører rundt i en uafbrudt bevægelse – til en diskret kopi – dvs. som er delt op i et antal tællelige enheder (fx et antal billeder pr. sekund). Den tekniske betegnelse for denne manøvre, hvor man oversætter et kontinuert signal til et diskret signal er *sampling*. Faktisk bygger hele den digitale revolution indenfor elektronikområdet på nogle klassiske resultater opnået af Harry Nyquist og Claude Shannon, der siger, at når man konverterer et kontinuert signal til et diskret signal, skal man "sample to gange båndbredden". Båndbredden betegner her det relevante frekvensområde. Hvis vi igen bruger analogien med hjulet på diligencen, kan man her opfatte båndbredden som det antal gange hjulet kører rundt pr. sekund. Hvis det fx kører rundt 10 gange i sekundet (10 Hz), siger princippet altså, at filmen skal optages med mindst 20 billeder i sekundet for at indfange al informationen.

Et paradigme under forandring

Dette princip om, at der skal "samples to gange" båndbredden er så rodfæstet, at det er bygget ind i digitaliseringsenheden i stort set alle elektroniske apparater. Og al den viden, der er opbygget om kontinuert-til-diskret konvertering er baseret på disse klassiske resultater. Det skyldes selvfølgelig, at det virker! Man har dog i mange år på baggrund af praktiske erfaringer vidst, at det ikke altid er nødvendigt at sample to gange båndbredden for at få et tilstrækkeligt godt resultat. Og der kan være store perspektiver i at omsætte denne viden til praksis. Det er fx indlysende, at hvis man vil kunne opnå et lige så godt resultat ved at optage en film med 5 billeder i sekundet som med 20 billeder i sekundet, vil der være penge at spare på energi, apparatur og datamængder.

Det er dog først for nylig, at der er kommet mere generelle resultater, der viser, at ideen om såkaldt "sparsom" eller "tynd" sampling (på engelsk *sparse sampling*) vil kunne føre til et nyt digitalt gennembrud. Dette er blevet set som lidt af et paradigmeskift indenfor kontinuert-til-diskret konvertering, og verden over forsøger forskere og ingeniører at omsætte denne nye viden til konkrete anvendelser.

Teori og virkelighed

I diligence-eksemplet så vi, at man med den traditionelle metode skal optage filmen med 20 billeder i sekundet, hvis hjulet kører rundt med en hastighed på 10 omgange i sekundet. Hvis man i dette tilfælde skulle bruge sparse sampling, ville man i stedet optage billeder af den kørende diligence på nogle tilfældige tidspunkter med fx i gennemsnit 5

Masser af regnekraft

Projektet med sparse sampling indenfor trådløs kommunikation på Aalborg Universitet har krævet adgang til store computersystemer. Det skyldes, at der indenfor trådløs kommunikation simuleres for hændelse, der måske kun opstår i ét ud af titusinder tilfælde eller sjældnere. For at kunne få et retvisende billede af sandsynligheden for denne hændelse, kræves der mellem et par hundrede eller tusind af disse sjældne hændelser. Det betyder, at det samme eksperiment skal gentages mere end en million gange. Desuden skal der som nævnt i teksten bruges mere regnekraft for at kunne udføre sparsom sampling.

Til formålet anvendes et system med 16 kraftige individuelle computere. Det har gjort det muligt at skabe retvisende resultater indenfor rimelig tid. Systemet kan klare op til 44 TFLOPS i "single precision" og op til 16,4 TFLOPS i "double precision". 1 TFLOPS = 10^{12} beregninger per sekund. Begge tal er såkaldt "peak" mål. "Single precision" og "double precision" henviser til antal bits der benyttes til at repræsentere et tal, henholdsvis 32bit og 64bit.

Systemadministrator Mads Boye og ph.d.-studerende Peng Li diskuter brugen af projektets computersystem.

billeder i sekundet. Det har nemlig vist sig, at man med meget stor sandsynlighed kan genskabe diligencens ubrudte bevægelse ud fra disse 5 tilfældige billeder.

Vi kan dog også se, at der ligger en antagelse om signalet bygget ind i tankeeksperimentet. Nemlig, at omdrejningshastigheden netop er 10 gange i sekundet. Men sådan opfører virkelighedens hjul sig jo ikke hele tiden – de ændrer hastighed. Så uanset om man bruger traditionel sampling eller sparse sampling kan man komme i en situation, hvor virkeligheden ikke passer til teorien.

Mange andre signaler har dog sådanne enkle beskrivelser, hvor signalet er hvad man kalder "båndbegrænset". Og faktisk bygger de nye resultater om sparse sampling på anden information om signalet end, at det nødvendigvis er båndbegrænset.

Vi kender det fra vores kamera, hvor et kamera med en opløsning på 10 megapixels tager billeder, der som rå data vil fylde 20-30 MB. Hvis det samme billede gemmes som et komprimeret JPEG-billeder, fylder det kun 4-6 MB, uden at man med det blotte øje kan se forskel. Ved JPEG-komprimering benytter man en antagelse om, at et naturligt billede ofte indeholder områder med næsten konstant intensitet/farve. Som alle brugere af digitale kameraer ved, så virker JPEG-komprimering rigtig godt. Mange af de antagelser, vi kan have om signaler og billeder, er derfor ikke bare akademiske tankeeksperimenter, men derimod yderst anvendelige.

Som at vende en supertanker

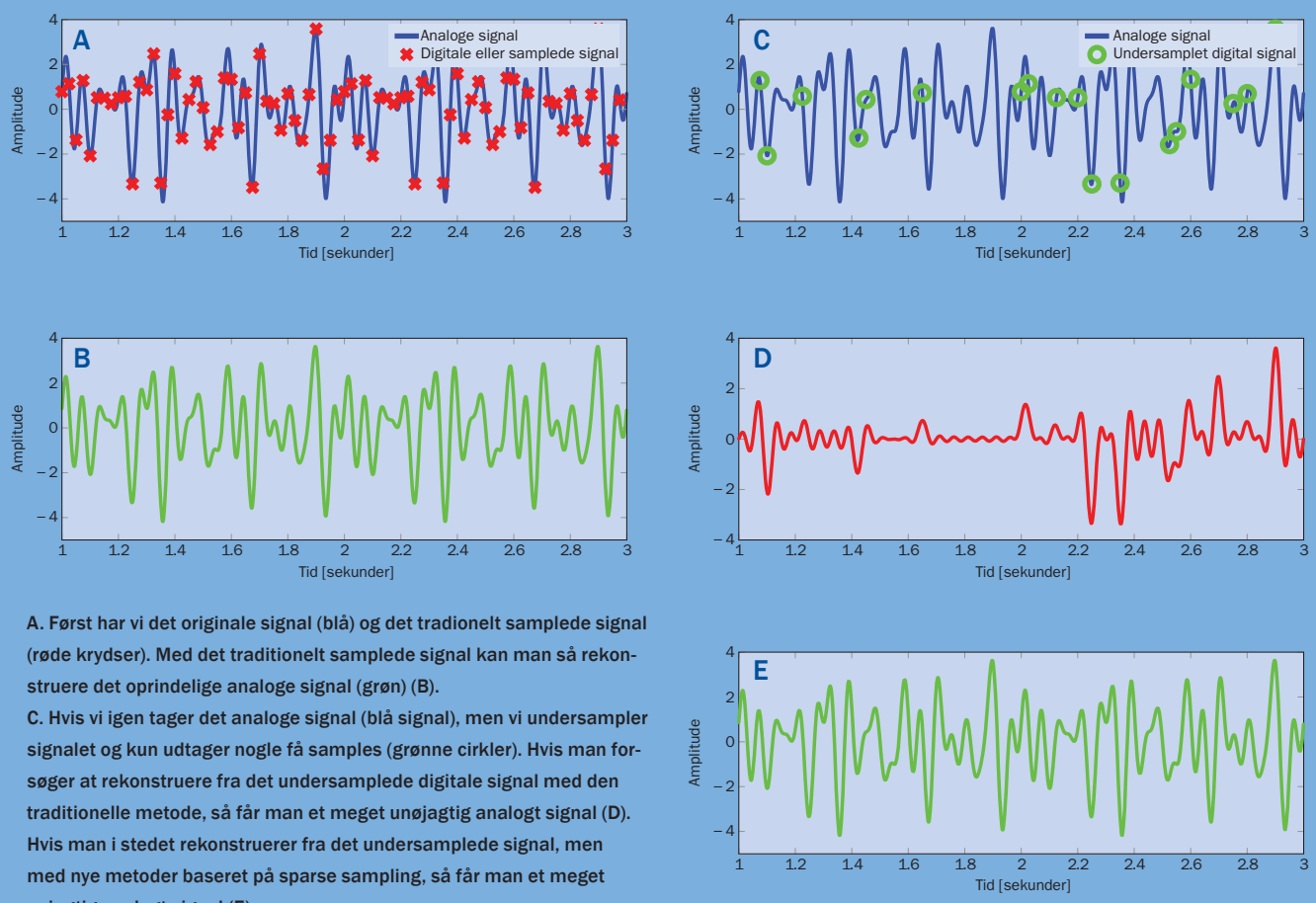
Det er dog lettere sagt end gjort at udnytte princippet om sparse sampling i verdens elektroniske apparater. Som nævnt er alt elektronisk udstyr og hele den digitale infrastruktur baseret på de klassiske resultater. Ja, man kan næsten sige, at det bliver indkodet i enhver elektronikingeniørs DNA, at det er sådan man skal gøre. Derfor er det et stort og svært område at flytte.

Det kan sammenlignes med at gå fra biler, der kører på flydende brændstof, til elbiler. Det er ikke nok bare at lave en ny motor: Motoren skal også passe sammen med resten af bilen, der skal opbygges en passende infrastruktur af genopladningsstationer, der skal være tillid til et fremtidigt brugtbilsmarked, og for at det hele skal give mening, skal det leveres konkurrencedygtigt til brugerne. Det er ikke en nem opgave!

Kan bruges til trådløs kommunikation

På Aalborg Universitet arbejder vi med at bruge digitaliseringsteknikker baseret på sparse sampling indenfor trådløs kommunikation. Indenfor standardiseret trådløs kommunikation som 3G og WiFi er der en masse regler for, hvordan de enheder, der afsender signalet skal være designet, mens der er langt færre regler for design af modtagerne. Derfor fokuserer projektet på modtagere, da det her vil være muligt at bruge de nye principper med et minimum af ændringer af hele systemet. Man vil således umiddelbart kunne bruge teknikkerne indenfor kendte standarder som 3G, LTE, GPS, ZigBee mv.

Eksempel på sparse sampling



A. Først har vi det originale signal (blå) og det tradionelt samplede signal (røde krydser). Med det traditionelt samplede signal kan man så rekonstruere det oprindelige analoge signal (grøn) (B).
C. Hvis vi igen tager det analoge signal (blå signal), men vi undersampler signalet og kun udtager nogle få samples (grønne cirkler). Hvis man forsøger at rekonstruere fra det undersamplede digitale signal med den traditionelle metode, så får man et meget unøjagtig analogt signal (D). Hvis man i stedet rekonstruerer fra det undersamplede signal, men med nye metoder baseret på sparse sampling, så får man et meget nøjagtig analogt signal (E).

En udfordring ved sparse digitalisering er, at det generelt er beregningsmæssigt tungere. Der skal simpelthen mere computerpower til for at håndtere disse nye sparse samplede signaler. For at blive i filmeksemplet kan man sige, at man ved at optage film med færre billeder i sekundet flytter opgaven med at skabe et ligeså godt resultat som ved en optagelse med flere billeder i sekundet hen på den "regneenhed", der skal processere signalet. Og det kan være en så stor en beregningsmæssig opgave, at det er urealistisk at kunne håndtere det på fx håndholdte enheder.

Vi har imidlertid vist, hvordan nogle specifikke teknikker kan anvendes indenfor digital kommunikation, som ikke øger de beregningsmæssige krav nævneværdigt. Det gør, at disse metoder vil kunne anvendes allerede i dag. Dog introduceres der en smule ekstra støj, som ikke kan undgås. Det betyder, at man fx vil kunne få en længere batteritid på sin computer, hvis man accepterer en lidt svagere forbindelse og dermed lavere datahastighed.

Mindre tidsforbrug

Ideerne om sparse sampling kan også benyttes til at reducere dataopsamlingstid. Det er fx interessant indenfor medicinsk billedbehandling, hvor man bruger scannere (som MR-scannere) til at danne billeder af patientens indre. Sådanne scannere er meget dyre og derfor gælder det om at minimere den tid, patienten opholder sig i scanneren, uden at det går ud over billedkvaliteten. Så her er der afgjort perspektiver i sparse sampling – også fordi det i disse situationer vil være muligt at skaffe den nødvendige computerpower.

På Aalborg Universitet fortsætter arbejdet med sparse sampling i et projekt indenfor billedområdet, nærmere bestemt mikroskopi på nanoskala, støttet af Det frie Forskningsråd for Teknologi og Produktion. Her er ideen, ligesom med patientscannerne, at reducere den tid, det tager at danne et billede med acceptabel billedkvalitet. Igen for at øge værdien og produktiviteten af disse mikroskopiapparater.

Med den øgede forståelse af sparse sampling de seneste år er der efterhånden ved at være bygget en del systemer op omkring sparse sampling. Indenfor en årrække vil vi derfor sandsynligvis se principperne om sparse sampling blive bygget ind i en del af de apparater, vi benytter i dagligdagen. Som det ofte er tilfældet med teknologiudvikling, vil denne lille digitale revolution forløbe helt uden, at vi som almindelige forbrugere vil bemærke noget som helst. ■

Videre læsning

Artikel fra Wired: Fill in the Blanks: using Math to Turn Lo-Res Datasets Into Hi-Res Samples
www.wired.com/magazine/2010/02/ff_algorithm/all/1

Artikel fra Informationweek.com: Megapixel Images Created With One Pixel
www.informationweek.com/megapixel-images-created-with-one-pixel/193300073

Om projektet ved Aalborg universitet
Søg på "SparSig" på http://vbn.aau.dk

INTERESSERET I TEKNIK OG SUNDHED?
... Så læs Sundhedsteknologi på Aalborg Universitet
Sundhedsteknologi er for dig, der vil udvikle og implementere avanceret teknologi til brug i sundhedssektoren. Du får mulighed for at kombinere din sans for teknik, computere og matematik med din interesse for sundhed, sygdom og mennesker. I undervisningen lærer du om, hvordan kroppen fungerer, og hvordan teknisk viden kan bruges til at forebygge, diagnosticere og behandle patienter.
Læs mere på
www.studieguide.aau.dk
AALBORG UNIVERSITET

Foto: Colorbox

Grise som model for hjerteklap

Hvert år rammes ca. 700 mennesker i Danmark af den alvorlige lidelse hjerteklapbetændelse. Undersøgelser tyder på, at grisens hjerteklapper kan blive syge på samme måde som vore. Derfor kan grisen blive et hjælpemiddel i kampen mod sygdommen.

Forfatter

Johanna G. Christiansen, dyrlæge, ph.d.-studerende, Sektion for eksperimentelle dyremodeller, Institut for Veterinær Sygdomsbiologi, Københavns Universitet. jogy@sund.ku.dk

Hjerteklapbetændelse er en sygdom, som kan ramme alle. Både mennesker med tidligere hjertelidelse men også de, som i forvejen har et raskt hjerte. Et eksempel på sidstnævnte er daværende kulturminister Brian Mikkelsen, som i 2006 blev akut indlagt med hjerteklapbetændelse i venstre side af hjertet.

Grisen kan være en hjælp til forbedring af både diagnostik og behandling af denne alvorlige lidelse. Undersøgelser viser nemlig, at grisens hjerteklapper ser ud til at kunne udvikle sygdommen på samme måde som mennesket. Derfor vil man måske kunne bruge grisen som dyremodel for sygdommen i stedet for fx kaniner, som ellers har været den mest anvendte dyremodel for hjerteklapbetændelse. Det vil være en fordel, da grisen på mange måder ligner mennesket.

Hvordan opstår hjerteklapbetændelse?

Hjertet har to halvdele, som hver har to kamre adskilt af hjerteklapper. Klapperne fungerer som ventiler, som lukker tæt mellem kamrene og sørger for, at blodet løber i den rigtige retning. Hjertets indre overflade dækkes af intelligente celler – såkaldte endotelceller – der har mange forskellige opgaver og er i tæt kontakt med blodet. Hvis disse celler beskadiges, kan de underliggende lag komme i kontakt med blodet, som løber forbi på sin vej til lungerne eller ud i kroppen. Skaden registreres og bliver forsøgt helet ved, at blodet størkner lokalt og dermed danner en lille blodprop, som dækker over det skadede område.

Disse små blodpropper kan også dannes på hjerteklapperne, og hvis der tilfældigvis er bakterier i det blod, der løber forbi, kan de hænge fast på blodpropsmaterialet og derved give anledning til betændelse. Hjerteklapbetændelse er en sygdom, hvis opståen og udvikling endnu ikke er helt klarlagt, men man mener, at de fleste tilfælde opstår på denne måde.

Bakterierne trives rigtig godt i denne form for blodprop, hvor de kan gemme sig for kroppens immunforsvar og får derfor frit spil til at forøges i antal. Derfor kan de forårsage meget skade, og fordi bakterierne gemmer sig inde i blodpropsmaterialet, kan det være en udfordring at nå frem til dem med antibiotika. Når de bliver flere, kan de, sammen med små stykker af blodproppen, løsne sig og transporteres med blodet til andre dele af kroppen. For eksempel kan de ende i hjernen, hvor de blandt andet kan forårsage et slagtilfælde.

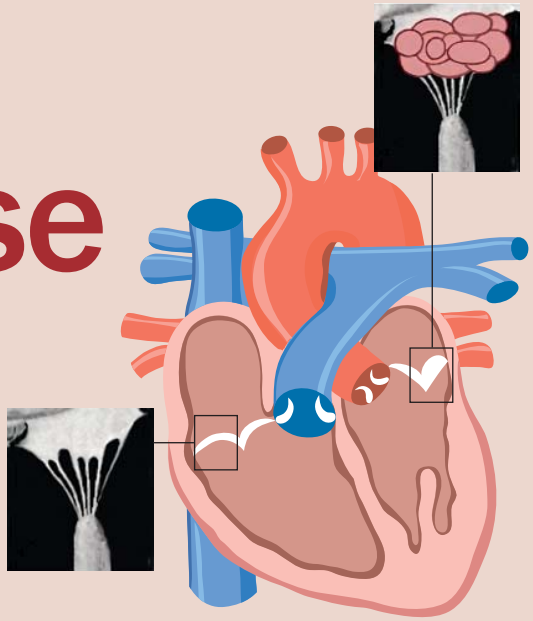
Store mængder bakterier i blodet kan også give blodforgiftning, så det er på mange måder en alvorlig sygdom. Hos mennesker er det især bakterien *Staphylococcus aureus*, som er involveret i sygdommen.

Grisen som model for hjerteklapbetændelse

Grisen har af flere grunde været en stor hjælp for forskningen i menneskets hjertekarsygdomme. Det skyldes primært, at hjertets størrelse og opbygning, blodtryk, samt blodpladernes egenskaber (som bl.a. er vigtige, når blodpropper dannes), er sammenlignelige med vores. Faktisk ligner grisen os så meget, at hjerteklapper fra en gris kan opereres ind i menneskets hjerte.

Kunstige hjerteklapper, som kan være vanskelige eller helt umulige at indsætte hos mindre forsøgsdyr, er også mulige at bruge i en grisemodel. Derfor kan også betændelse i kunstige hjerteklapper, som er et stort problem, studeres i grisemodellen.

betændelse



Hjerteklapperne fungerer som ventiler, som lukker tæt mellem hjertets kamre. Hjerteklapbetændelse opstår sandsynligvis oftest ved, at der først sker en lokal skade på cellerne, der dækker hjertets indre overflade, med dannelse af en mindre blodprop.

Almindelige tamgrise kan også få hjerteklapbetændelse, men oftest med andre bakterier som årsag. Derfor var man usikker på, om den type hjerteklapbetændelse, som er hyppigst set hos mennesker, kunne fremkaldes i grisene. På Sektion for Patologi ved Institut for Veterinær Sygdomsbiologi på Københavns Universitet arbejder vi som forskningsgruppe med sammenligning af grise og mennesker i forbindelse med forskellige infektionssygdomme. Vore undersøgelser tyder på, at det kræver små blodpropper på hjerteklapperne at fremkalde sygdommen eksperimentelt hos grisen – altså netop sådan som man også mener, at sygdommen typisk opstår hos mennesker.

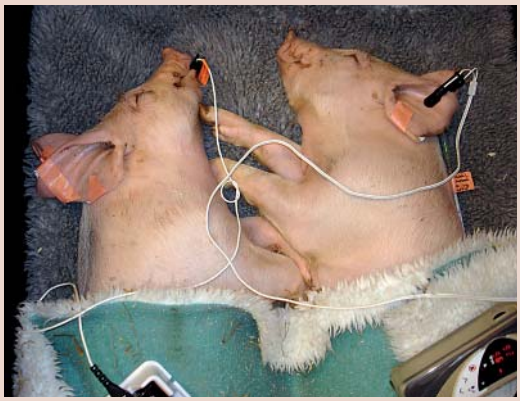
For at danne mini-blodpropper på hjerteklapperne hos grisene benytter vi en tynd plasticslange, som under narkose føres til hjertet og lokalt ridser hjertets indre overflade for at fjerne det øverste cellelag. Ridserne medfører dannelse af små blodpropper, og når bakterier efterfølgende indsprøjtes i blodet, kan disse hæfte sig til blodpropperne i hjertet og forårsage betændelse.

Hvis bakterier er i blodet, uden at der er små blodpropper, opstår sygdommen tilsyneladende ikke. Den eksakte mængde bakterier har også stor betydning, idet der skal være mange nok til, at de kan overleve turen til hjertet og stadig være nok til at forårsage sygdom. Fordi hjerteklapbetændelse er en så alvorlig sygdom, er det meget vigtigt, at dyrene ikke lider unødigt under forsøgene. Derfor arbejdes der under et strengt regelsæt, hvor grisene følges nøje af en dyrlæge under hele forsøget og behandles med stærke smertestillende lægemidler, så snart de viser tegn på sygdom. Som i al forskning med forsøgsdyr er det også vigtigt at bruge så få dyr som overhovedet muligt for at opnå den nødvendige viden.

Diagnostiske test som hos mennesker

For at grisen skal være egnet som model for en lidelse hos mennesker, er det vigtigt, at sygdommen kan diagnosticeres på samme måde. Dette foregår ved scanning af hjertet med ultralyd, hvor sygdommens udvikling følges. På ultralydsbillederne er det muligt at se både mindre blodpropper i hjertet, men også de lidt større blodpropper, som indeholder bakterier.

To forsøgsgrise i stalden. Grise er meget opmærksomme og nysgerrige dyr, og grisene i forsøget blev trænet ved hjælp af godbidder (æblestykker) til at stå stille, når de blev undersøgt. Dette letter undersøgelsen, og det medfører samtidig mindre stress hos grisene. Foto: Johanna G. Christiansen



To bedøvede grise på vej til operationsrummet for at få dannet små blodpropper i hjertet. Foto: Johanna G. Christiansen

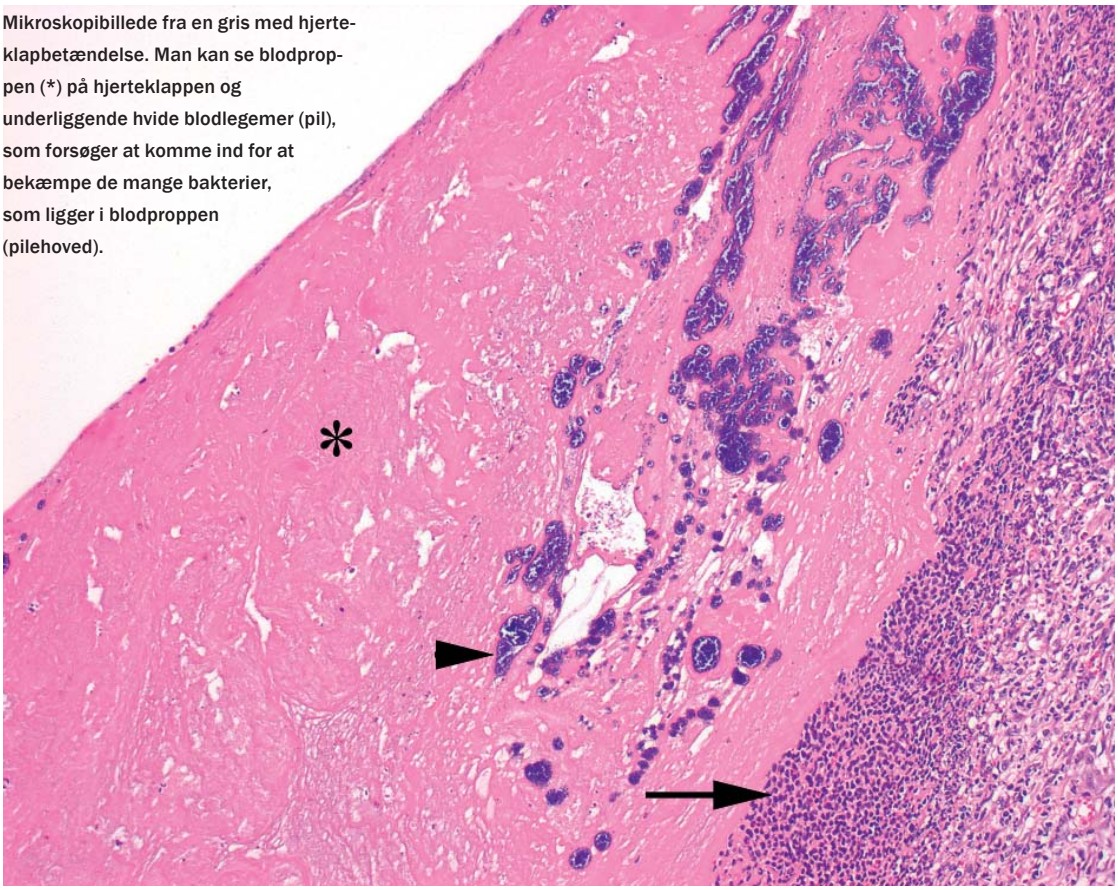
Danmarks
Tekniske Universitet

INSPIRATION TIL DIN UNDERVISNING

TJEK DTU'S TILBUD TIL GYMNASIET

På DTU kan du og dine elever lave forskellige øvelser og høre endnu flere foredrag. Vi har camps og konkurrencer, hvor eleverne dyster og samarbejder – enten på DTU, på jeres gymnasie eller et helt tredje sted.

Få input til undervisningen på DTU's gymnasielærerkurser. Brug vores tekster, videoer og øvelser i undervisningen. DTU's gymnasietilbud finder du på **www.dtu.dk/gymnasier**. Læs mere i folderen på **www.dtu.dk/gymnasiefolder.**



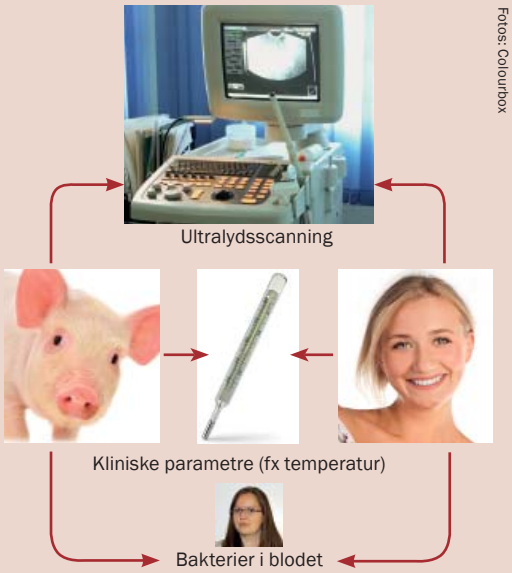
Mikroskopibillede fra en gris med hjerteklapbetændelse. Man kan se blodproppen (*) på hjerteklappen og underliggende hvide blodlegemer (pil), som forsøger at komme ind for at bekæmpe de mange bakterier, som ligger i blodproppen (pilehoved).

Derudover måler man bakterier i blodet, da der som nævnt ofte vil være bakterier løsnet fra hjerteklapperne, der føres rundt i blodcirkulationen. Derfor kan man måle bakterier i blodet hos dyr med hjerteklapbetændelse præcist som hos mennesker. Efter grisene er aflivet, gemmes deres hjerter og andre organer. Herefter bliver hjerteklapperne undersøgt i mikroskop, hvor man kan se bakterierne, som gemmer sig inde i selve blodproppen, mens kroppens hvide blodlegemer i det underliggende væv kæmper for at komme til.

Fremtidsmuligheder

Hjerteklapperne fra vort forsøg er gemt og kan bruges i flere år fremover og dermed bidrage til mere viden om lidelsen. Der er nemlig stadig mange ukendte faktorer. Et fremtidigt projekt er at undersøge forskellige faktorer for sygdommens opståen, bl.a. hvordan blodets størkning og kroppens eget immunforsvar spiller ind. Ved nærmere at undersøge inflammationen i grisens hjerteklapper sammenlignet med menneskers kan det opklares, om grisen også på dette punkt reagerer ligesom os. Hvis det er tilfældet, vil det styrke grisens position som model for hjerteklapbetændelse.

At grise kan udvikle hjerteklapbetændelse på samme måde som mennesket som beskrevet i denne artikel, og at sygdommen hos grise på mange punkter ligner tilstanden hos mennesker, giver håb om, at grisen kan blive et værdifuldt hjælpemiddel i kampen mod hjerteklapbetændelse. En kamp, der ikke bliver mindre vigtig af, at man de seneste år har set et øget antal af antibiotikaresistente bakterier. Det er foruroligende, da lidelsen i forvejen er svær at behandle. ■



Fotos: Colourbox

Der benyttes samme diagnostiske hjælpemidler til grisene som til mennesker. Fx ultralydsundersøgelse af hjertet, undersøgelse af forskellige kliniske parametre som feber, og måling af bakterier i blodet.

Læs mere

Thomas M Bashore: Update on infective endocarditis. Current Problems in Cardiology, 2006.
John L Brusch: Infective Endocarditis: Management in the Era of Intravascular Devices, 2007.
Johanna G Christiansen: Porcine models of non-bacterial thrombotic endocarditis (NBTE) and infective endocarditis (IE) caused by *Staphylococcus aureus:* A preliminary study. Journal of Heart Valve Disease, 2013.

Materialer, der kan lede en strøm på overfladen, men ikke indeni, er et nyt varmt forskningsemne. Udover at være interessante i sig selv er de *topologiske isolatorers* særlige egenskaber yderst interessante til brug i fremtidens elektronik.

At lede eller ikke at lede

Forfattere

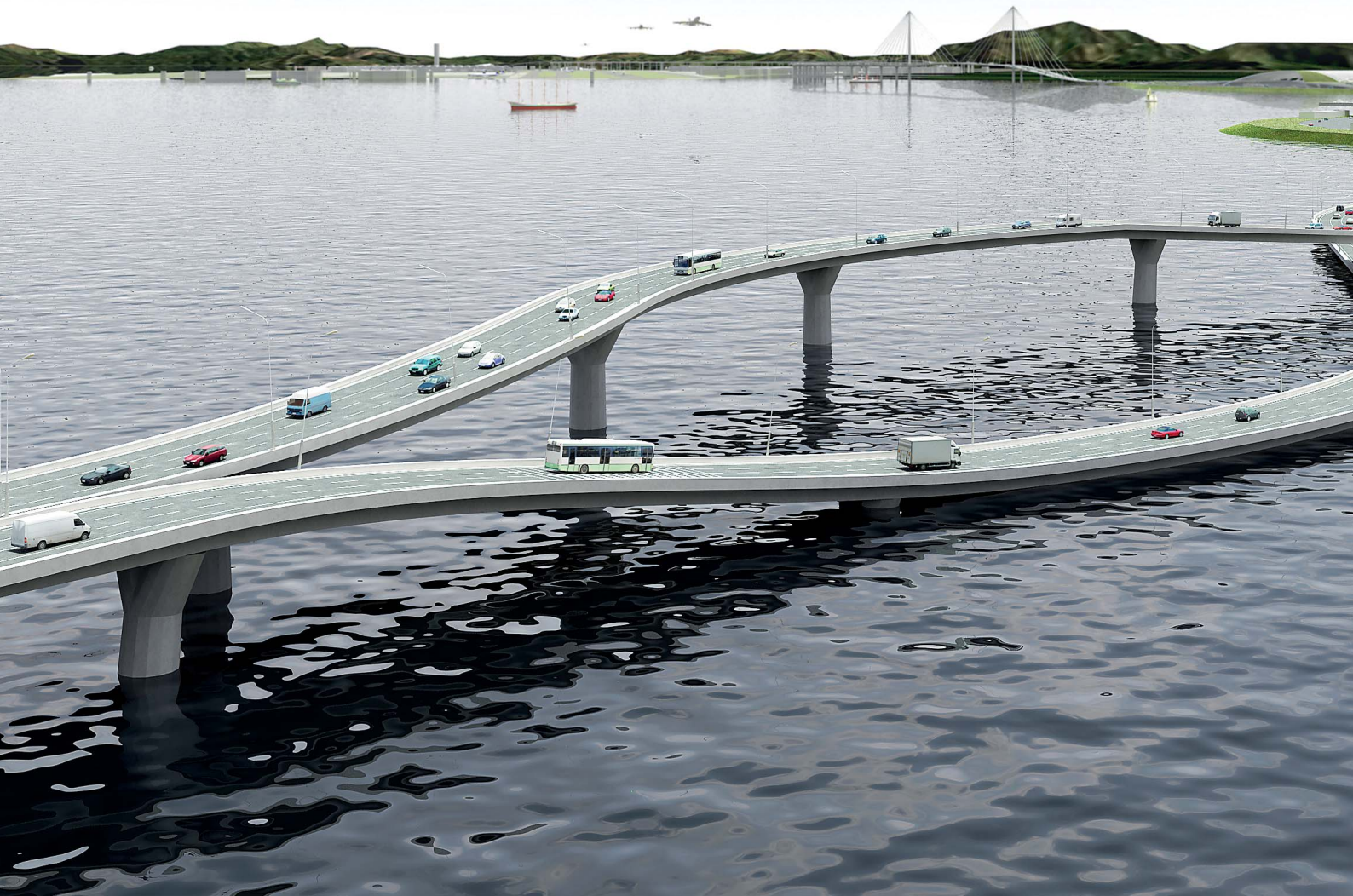
Nikolaj Zinner, lektor, ph.d. Institut for Fysik og Astronomi Aarhus Universitet. zinner@phys.au.dk

Philip Hofman, professor, Institut for Fysik og Astronomi Aarhus Universitet. philip@phys.au.dk

Forskning i materialers egenskaber har i de seneste par år gennemgået en mindre revolution. Det skyldes, at man har opdaget, at klassifikationen af materialer som enten ledende eller isolerende er et ufuldstændigt billede af virkeligheden. Det viser sig nemlig, at der findes isolatorer, som på trods af deres modvilje mod at lede strøm inde i materialet, er gode ledere på overfladen. Man kalder disse materialer for *topologiske isolatorer*. Deres specielle egenskaber og stabiliteten af disse egenskaber er meget lovende i forhold til teknologiske anvendelser. Fx vil topologiske isolatorer kunne bruges til at lave elektroniske kredsløb med et meget lavt strømforbrug. I den mere eksotiske ende af skalaen er det desuden blevet forslået, at netop disse materialer kan bruges som en vital komponent i kvantecomputere.

Derfor forskes der på livet løs mange steder i verden for at finde de bedst egnede topologiske isolatorer. Topologi er et meget generelt begreb fra matematikkens verden, som kan bruges til at sammenligne forskellige geometriske strukturer. Fx har en badebold og en badering forskellig topologi, fordi baderingen har et hul i midten, hvilket bolden ikke har. Således kan man ikke ved at bøje, strække og deformere en badebold give den form som en badering eller omvendt. Fra et topologisk synspunkt er alle bolde (uden huller) ens, og alle ringe (med netop et hul) er ens.

Sammenhængen mellem det matematiske begreb topologi og de topologiske isolatorer vil for menigmand være sløret i specifikke detaljer og beregninger. Ved hjælp af analogier og simple billeder kan



man dog få en fornemmelse for, hvad det drejer sig om. Og det viser samtidig, hvorfor disse materialer er så interessante for forskerne i disse år.

Niels Bohr viser vejen

Et tidligt eksempel på en topologisk isolator er materialer, der udviser den såkaldte kvante-Hall-effekt. Det essentielle fysiske billede af hvad der sker i kvante-Hall-effekten blev første gang beskrevet af Niels Bohr i en afhandling fra 1911. Det er imidlertid langt fra oplagt ved første øjekast, at det billede har noget at gøre med topologien. Topologi blev således heller ikke benyttet i den fysiske beskrivelse af kvante-Hall-effekten fra starten. Hvis man ser nærmere på Niels Bohrs beskrivelse bliver det dog klart, at topologiske isolatorer og kvante-Hall-effekten har meget med hinanden at gøre. Materialer, der udviser kvante-Hall-effekten er, nemlig ligesom de topologiske isolatorer, isolerende i det indre, men opfører sig som et metal på overfladen, således at de kan lede en strøm kun langs overfladen. For kvante-Hall-materialer skyldes det, at et kraftigt ydre magnetfelt holder elektronerne fast i små cirkelbaner som forudsagt af Niels Bohr. Ydermere kan elektronerne ved kanterne kun bevæge sig i én retning (se boks). En vigtig konsekvens af det er, at der opstår perfekt elektrisk ledning langs kanten, som ikke kan ødelægges ved, at elektronerne spredes på uønskede urenheder i materialet Dette er en meget ønskværdig egenskab i forhold til teknologiske anvendelser.

Fra det tidspunkt, hvor Niels Bohr præsenterede de grundlæggende idéer, skulle der imidlertid gå cirka 70 år før kvante-Hall-effekten blev beskrevet som en topologisk tilstand og derpå yderligere mere end 20 år, før de topologiske isolatorer blev alment kendte.

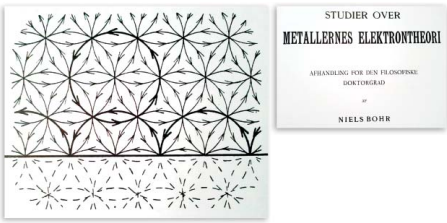
Nu med spin...

For at få et materiale til at udvise kvante-Hall-effekten er det nødvendigt at påføre et kraftigt ydre magnetfelt – desværre så kraftigt, at man kun kan lave dem i specialiserede laboratorier. I forhold til teknologiske anvendelser vil man derfor meget gerne undgå ydre magnetfelter. Inden for de seneste ti år er det blevet klart, at der faktisk er en smart måde at opnå dette på, nemlig ved at benytte den egenskab ved elektronen, der kaldes spin. Spin betegner et magnetisk moment alle elektroner er født med, så man faktisk kan tænke på dem som små magnetiske dipoler. I nogle materialer er elektronernes bevægelse særligt stærkt koblet til elektronernes dipol, og disse materialer behøver ikke et ydre magnetfelt for at udvise en effekt tilsvarende kvante-Hall-effekten. Man taler derfor om en kvante-spin-Hall-effekt, og materialer med denne effekt, er også gode ledere på kanterne. Kvante-spin-Hall-effekten blev påvist eksperimentelt for første gang i 2007.

Et todimensionelt materiale, der udviser kvante-Hall-effekten, opfører sig som en isolator på nær i kanten af materialet, hvor der er metalliske tilstande og en strøm kan løbe. Tilsvarende kan de topologiske isolatorer forstås som tredimensionelle

Den grundlæggende idé i de topologiske isolatorer er her illustreret via en arkitekttegning af et forslag til en bro mellem Hong Kong og Kina som skifter kørsel i venstre side til kørsel i højre og omvendt. Man kan ikke "rette" denne bro ud, sådan at krydsningen bliver fjernet, med mindre man laver trafikreglerne om i enten Kina eller Hong Kong. Det samme gør sig gældende i de topologiske isolatorer, hvor det er valensbånd og ledningsbånd, der er snoet ind i hinanden på lignende måde. Se boks.

Billede: NL architects, Amsterdam. www.nlarchitects.nl



STUDIER OVER

METALLERNES ELEKTRONTHEORI

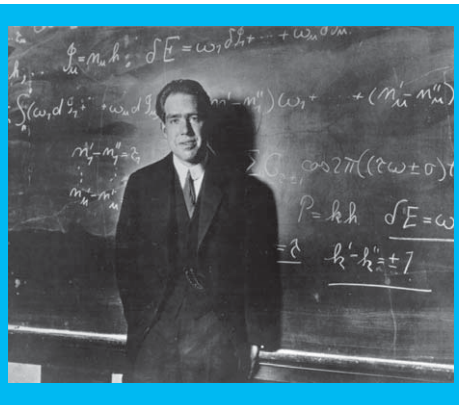
AFHANDLING FOR DEN FILOSOFISKE DOKTORGRAD

AF

NIELS BOHR

"Følger man derimod de Elektroner, der under Gennemløbningen af deres Baner kommer i Berøring med Væggen, vil man se, at disse, som det fremgaar af Figuren, under det magnetiske Felts Indvirkning faar en Slags krybende Bevægelse langs med Væggen; og disse Elektroner vil derfor, betragtet for sig, frembringe et magnetisk Felt i samme Retninge som det ydre Felt, og som vil være ligesaa stort og modsat rettet det, som frembringes af Elektronerne i det Indre."

Uddrag fra Niels Bohrs doktorafhandling fra 1911 som omhandler elektronteorien for metaller. Afhandlingen beskriver blandt andet elektroners bevægelse i et magnetisk felt og er således et af de første bidrag til beskrivelsen af kvante-Hall-effekten, som imidlertid først blev eksperimentelt bekræftet i 1980'erne.



materialer med en metallisk overflade, som kan lede en strøm på trods af, at der er tale om en isolator inde i selve materialet. Elektroner på overfladen har stadig en stærk kobling mellem deres bevægelse og deres indre magnetiske dipol ganske som i et kvante-spin-Hall-materiale.

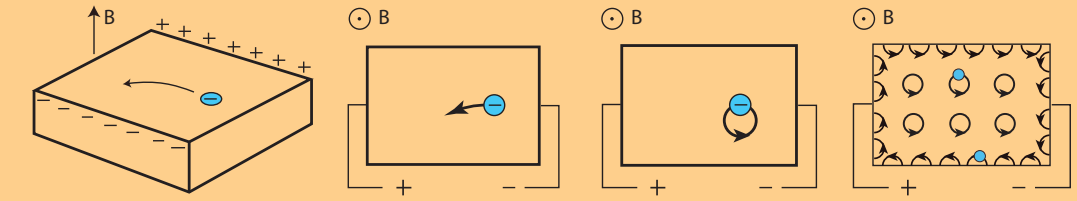
Svært at måle

De topologiske isolatorer, man hidtil har fundet, er faktisk særdeles velkendte materialer. Det drejer sig især om termoelektriske halvledere, som er materialer, der kan bruges til at danne en strøm ud fra en temperaturforskel. Et ofte studeret eksempel er Bi_2Te_3, en blanding af Bismuth og Tellur. Disse materialer har man kunnet fremstille i mange år, men det er først for ganske nylig, at man har fået øjnene op for, at de kan have topologiske egenskaber.

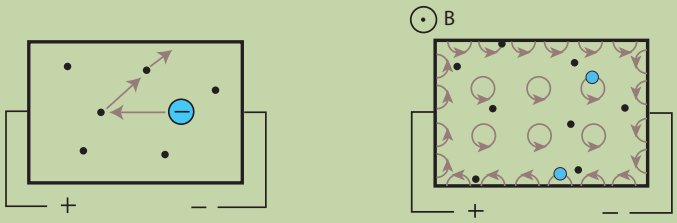
I princippet burde det jo være ganske simpelt at måle, om et materiale er en topologisk isolator. Man tager en isolator og prøver at sende strøm gennem den. Hvis det lykkes, må det være fordi, der er løbet strøm langs overfladen. Desværre er det ikke helt så let i virkeligheden. Mange materialer, som man mistænker for at have topologiske egenskaber, indeholder ladede urenheder i deres indre, som kan afgive elektroner, og som derfor leder strøm i det indre. Selv om ledningsevnen i det indre af et materiale kan være dårlig, har et materiale typisk en indre del, som fylder meget mere end overfladen, og derfor kan det indre stadig bidrage væsentlig til ledningen.

For at overkomme det problem kan man gå tre forskellige veje. Den første er at syntetisere materialer, som er så perfekte, at deres indre faktisk ikke er ledende. Den anden mulighed er kun at kigge på meget tynde materialer, således at overfladen udgør en betydelig andel af det samlede materiale.

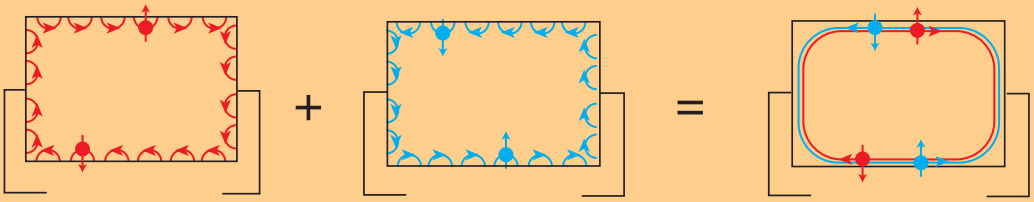
Kvante-Hall-effekten



Kvante-hall-effekten kan bedst illustreres via en række skitser som vist her. Når elektroner bevæger sig i et magnetisk felt, som er vinkelret på deres bevægelsesretning, vil deres bane afbøjes på grund af den såkaldte Lorentz kraft. Det fører klassisk set til en opladning af siderne af materialet som vist til øverst til venstre (den klassiske Hall effekt). I tilfældet, hvor det magnetiske felt er meget kraftigt, vil elektronbanerne afbøjes så meget, at de udgør små lukkede kredsløb som vist øverst til højre. Det betyder effektivt, at der ikke ledes nogen strøm i det indre, da elektronerne står stille i deres små cirkler (2 midterste figurer øverst). På overfladen vil elektronerne derimod støde mod kanten af materialet og afbøjes tilbage, således at man får en "slags krybende bevægelse langs med væggen" (øverst til højre), som Bohr kaldte det i 1911.

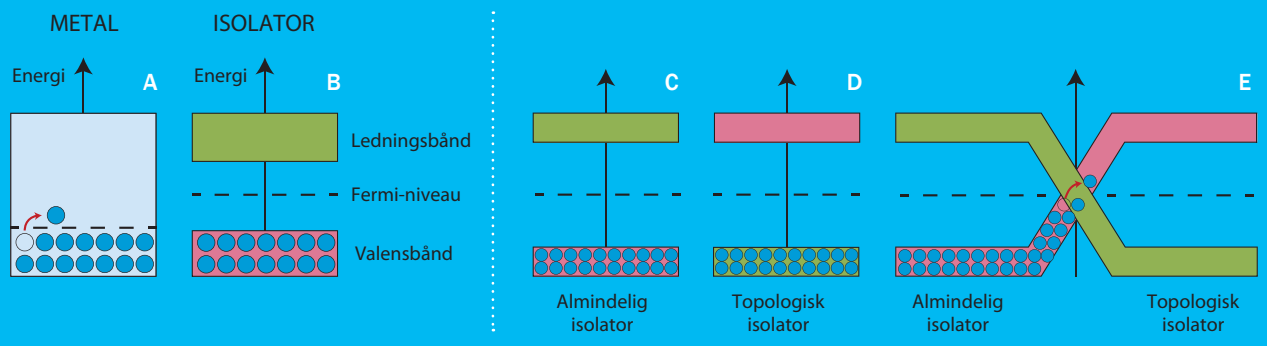


I de to næste figurer (grønt felt) tager vi højde for, at der typisk er urenheder i materialerne, her illustreret ved små sorte prikker, som elektronerne støder ind i og bliver kastet tilbage fra, i næsten vilkårlig retning. Hvis vi nok engang påfører et kraftigt magnetfelt, finder vi ud af, at elektronerne, der kryber langs kanten, ikke kan spredes vilkårligt på urenheder, da de altid afbøjes tilbage mod kanten og fortsætter deres bevægelse i den samme retning. Vi har altså redegjort for, at urenheder ikke kan ødelægge den elektriske strøm, der løber langs kanten.



Ser vi derimod på materialer, der udviser kvante-spin-Hall-effekten, behøver vi intet ydre magnetisk felt, men får stadig ledning langs med kanten (orange felt), og vi har sågar, at retningen af strømmen på overfladen afhænger af, om elektronen har magnetisk dipol pegende op eller ned (små pile på elektronerne).

Topologisk isolator



For at illustrere princippet bag en topologisk isolator og specielt de ledende tilstande på overfladen i et ellers isolerende materiale ser vi først på et almindeligt metal (A) og en isolator (B). I faste stoffer sidder elektronerne ikke på veldefinerede energiniveauer som i atomer, men kan have energier fordelt over et stort interval – et såkaldt energibånd. I et metal er energibåndet kun delvis fyldt, og der er mange tilstande, som elektronerne kan hoppe op til, uden at det koster særlig meget energi. Dette er vist til venstre (A), hvor en elektron hopper op over de andre. Den stiplede linje viser det såkaldte Fermi-niveau, hvor alle elektroner ligger under i grundtilstanden. For at lede en strøm skal elektronerne bare tilføjes en smule kinetisk energi, og man betaler kun en lille pris for at sende elektroner op til lige netop på den anden side af Fermi-niveauet. Til sammenligning har en isolator (B) ikke nogen ledige tilstande til rådighed med mindre man betaler en betydelig pris for at få en elektron til at hoppe fra det såkaldte valensbånd op til ledningsbåndet, hvor den kan lede en strøm. Elektronerne er således låst fast i deres bevægelse.

På figurerne til højre ser vi en almindelig isolator (C) og en topologisk isolator (D). Begge materialer har en stor afstand mellem valens- og ledningsbånd. Det specielle ved den topologiske isolator er nu at disse to bånd har byttet plads således, at valensbåndet har samme egenskaber som ledningsbåndet i en almindelig isolator. Dette lader sig kun gøre i bestemte materialer, hvor der er en meget stærk kobling mellem elektronernes bevægelser og deres indre magnetiske moment gennem en såkaldt spin-orbit kobling. Fænomenet kan dog forstås på samme vis som hvis man betragter en elektron i et brintatom. Her vil elektronen også have forskellige bevægelsesmønstre (givet ved den såkaldte bølgefunktion) afhængig af, om den befinder sig i grundtilstanden eller i en tilstand med en højere energi.

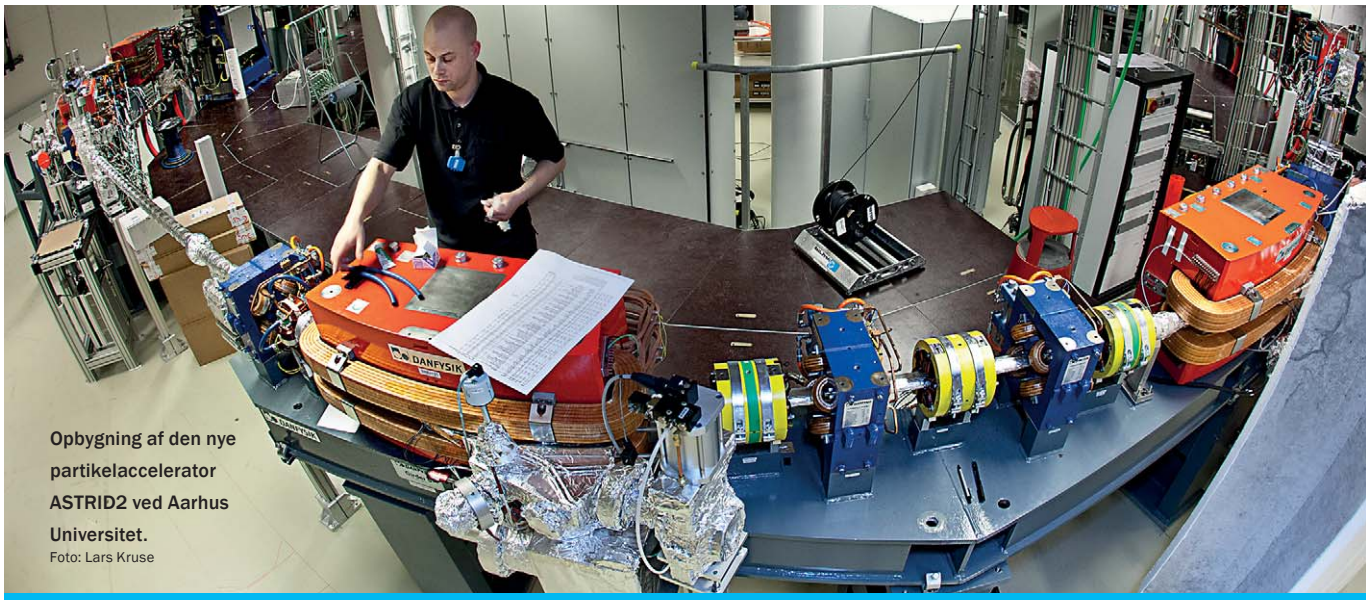
Hvis man forestiller sig, at man sætter en almindelig og en topologisk isolator op ad hinanden, så ser båndene ud som skitsen til højre (E), da bånd med samme egenskaber ifølge kvantemekanikken nødvendigvis må mødes ved grænsefladen, som ligger i midten. I vores analogi med brintatomet svarer det til, at elektroner med samme bevægelsesmønster skal mødes, således at dem i de laveste tilstande i en almindelig isolator mødes med dem fra valensbåndet i den topologiske isolator og omvendt. Men det betyder, at man netop på grænsefladen mellem de to materialer får tilstande lige over Fermi-niveauet, som elektronerne kan benytte og en strøm kan ledes på grænsefladen. Praktisk set er der ikke engang behov for at bruge grænsefladen mellem en almindelig og en topologisk isolator. Da luften omkring os er et eksempel på en almindelig isolator, kan vi således se, at topologiske isolatorer må tillade en strøm at løbe på deres overflade.

Situationen med lednings- og valensbånd kan illustreres med en analogi til en foreslået trafikbro mellem Hong Kong og Kina (se startbilledet fra NL architects). Broen har den særlige egenskab at sporene skal krydse for at få trafikken fra højre til venstrekørsel. Således er det også med lednings- og valensbåndene mellem en topologisk isolator og en almindelig isolator. Det vigtige er at det ikke er fordi grænsefladen mellem båndene har specielle egenskaber, men tværtimod at det indre af de to materialer har forskellige egenskaber. I billedet med broen er det kørselsretningen som er en indre egenskab ved henholdsvis Kina og Hong Kong, og som altså gør det nødvendigt at krydse retningen.

Indblik i de topologiske tilstande

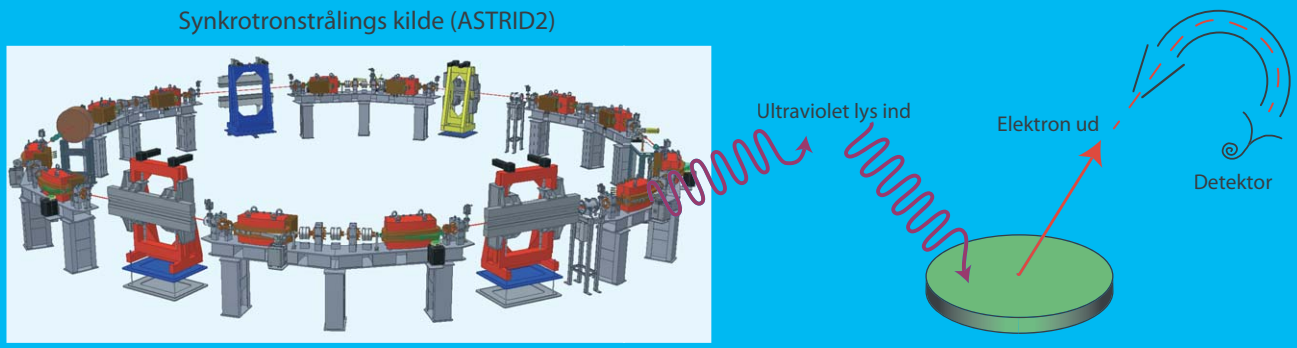
Den tredje metode er at gå meget direkte til værks og simpelthen måle egenskaberne ved tilstande, som ligger i overfladen. Det sidste kan gøres for både tynde og tykke materialer. Fordelen ved at måle direkte på overfladen er, at man umiddelbart får information om eksistensen af de metalliske tilstande, som skal findes på overfladen af en topologisk isolator. Teknikken til at gøre det kaldes vinkelopløst fotoemissionsspektroskopi. Den bygger på den fotoelektriske effekt, som beskriver det fænomen, at lys river elektroner løs i overfladen på metaller, som man derpå opsamler i en detektor. Finten er, at den vinkel og den energi, som elektronen har, når den løsriver sig fra materialet, afhænger af de forhold, der er i overfladen af materialet. Således får man meget direkte information om, hvordan tilstandene er i overfladen, og om de kan lede en strøm.

I vore eksperimenter på Aarhus Universitet bruger vi UV-lys fra ASTRID og ASTRID2, som er partikelacceleratorer der udsender såkaldt synkrotronstråling, som kan anvendes i et utal af spændende eksperimenter. Det gør det muligt at opnå en tilstrækkelig høj opløsning af strålingens spektrum til, at de topologiske tilstande på overfladen kan identificeres.



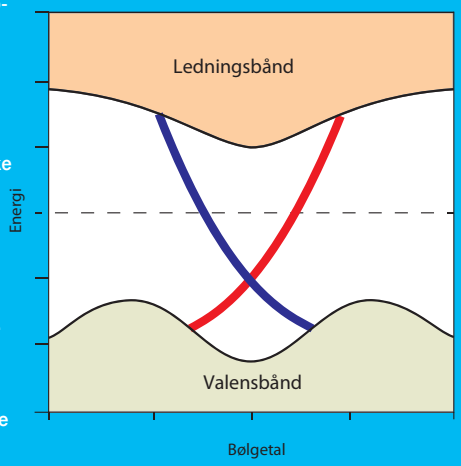
Opbygning af den nye partikelaccelerator ASTRID2 ved Aarhus Universitet.
Foto: Lars Kruse

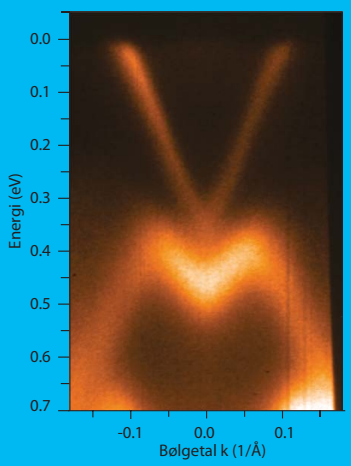
Måling af overfladetilstande



For at måle egenskaber af overfladetilstande på et givent materiale benyttes vinkelopløst fotoemissionsspektroskopi, også kaldet ARPES. For at gennemføre sådanne forsøg har man behov for en synkrotronstrålingskilde. På Aarhus Universitet er vi i besiddelse af en topmoderne ring kaldet ASTRID2, som er leveringsdygtig i synkrotronstråling af høj kvalitet, der gør ARPES-forsøg mulige.
Det ultraviolette lys fra ASTRID2 sendes ind på prøven/materialet og river elektroner løs. Disse elektroner kan man derpå samle op med en detektor. Afhængig af vinklen elektronen sendes ud med og dens energi kan man således regne sig frem til den energi og impuls, som elektronen havde, da den befandt sig inde i materialet. Moderne ARPES-opstillinger kan måle fotoemissionsintensitet over et bredt energi og vinkelområde, og man kan faktisk opnå et direkte billede af materialernes elektronstruktur.

I figurerne til højre vises en skitse af, hvad man teoretisk forventer at se, når man måler på overfladen af en topologisk isolator. Det såkaldte bølgetal er her et mål for impuls af elektronerne. Den blå og den røde linje viser overflade tilstande for elektroner med modsatrettede magnetisk moment. Disse tilstande kan kun bevæge sig til henholdsvis venstre og højre på overfladen ganske som i kvante-spin-Hall effekten. De opfylder også det topologiske krav om at forbinde valens- og ledningsbåndet, så at overfladen bliver metallisk.
Til højre ses en ARPES-måling på en topologisk isolator som stemmer overens med vores teoretiske forståelse. Bemærk især, hvor klart de to overflade tilstande fremstår. Ledningsbåndet kan ikke ses i denne type måling, fordi udsendelse af fotoelektroner kun kan lade sig gøre fra tilstande, som er besatte med elektroner.





Grundforskning og teknologiske anvendelser

Topologiske isolatorer er et meget ny forskningsfelt, og lige nu arbejder mange forskere med at identificere og syntetisere nye topologiske isolatorer, og med at optimere egenskaberne af de mest velegnede materialer. Især i USA og Kina er der store forskningsinitiativer indenfor topologiske isolatorer. Ved Aarhus Universitet er vi i gang med et større forskningsprojekt støttet af VILLUM fonden, hvor vi leder efter nye topologiske isolatorer og undersøger deres fundamentale egenskaber. De vigtigste aktuelle spørgsmål for forskere indenfor feltet er, om man kan finde udgaver af topologiske isolatorer, som er bedre isolatorer i deres indre dele, om man kan finde nye todimensionale topologiske isolatorer, og hvordan man kan påvirke de topologiske tilstande med eksterne magnetfelter eller magnetiske urenheder.

En stor fordel er, at vore kolleger ved Kemisk Institut på Aarhus Universitet besidder en stor ekspertise indenfor fremstillingen af materiale med de rette egenskaber, og vi kan således få adgang til prøver med meget få urenheder og dermed minimere ledningen i de indre dele.

Fra topologi til spintronics

I fremtiden vil topologiske isolatorer kunne bruges til fremstilling af elektroniske komponenter, hvor det ikke kun er elektronernes bevægelse, der overfører strøm og dermed signaler, men også deres indbyggede magnetiske dipolmoment, deres spin. Fordelen ved at udnytte elektronernes spin er, at man kan undgå en stor del af det tab, som er forbundet med elektriske kredsløb, fordi man minimerer sammenstød, hvor elektronerne kastes tilfældigt rundt, når de rammer urenheder. Det gælder især for de éndimensionale kanter af todimensionale topologiske isolatorer, som også vil kunne bruges til at filtrere elektronerne efter deres spinretning. Sammenstød mellem elektroner og urenheder opvarmer materialerne og giver både nedsat ydeevne og højere energiforbrug. At minimere sådanne effekter er således et guldrandet mål for materialeforskningen, og derfor er materialer, som udviser kvante-spin-Hall-effekten, særdeles attraktive.

På længere sigt kan man også tænke sig, at elektronernes spin kan udnyttes til at transportere eller gemme (kvante)-information. Det svarer til en situation, hvor man flytter information ved hjælp af elektronernes spin uden at flytte elektronerne selv, altså uden en elektrisk strøm. Denne idé er grundlaget for et nyt visionært forskningsfelt, som er blevet døbt spintronics på grund af analogien til normal elektronik, hvor det er elektronernes ladning, der transporterer information. ■

Læs mere

www.phys.au.dk/~philip/

http://www.isa.au.dk/facilities/astrid2/astrid2.asp

http://physics.aps.org/synopsis-for/10.1103/PhysRevLett.102.096802

http://ing.dk/artikel/dansk-forskningsgennembrud-spin-transistoren-er-kommet-inden-raekkevidde-121532

ANNONCE

Gratis undervisningsforløb og foredrag til gymnasier

Vi tilbyder gratis foredrag, rundvisninger og undervisningsforløb, som kan hjælpe dine elever til at se, hvordan fag som fysik, matematik og kemi kan bruges i praksis.

Undervisningsforløb

- TEK – BrobygningsCenter
- Lego Education Center
- RoboChallenge
- MCI Science Show
- Innovationsworkshoppen
- Tech Training

Faglige foredrag

Vi har 15 foredrag inden for naturvidenskab, teknik og innovation. De handler om alt lige fra Kemi i ølbrygning og Laserteknologi til Idégenerering og iværksætteri.

Se alle tilbuddene fra Ingeniøruddannelserne på SDU på www.sdu.dk/tek/brobygning

For mere information kontakt Randi Hærup Poser på tlf. 6550 7326 / e-mail: rahp@tek.sdu.dk

Vores ambassadørkorps står klar med gratis oplæg og undervisningsforløb – hos os eller jer.

INGENIØRUDDANNELSERNE PÅ SYDDANSKUNIVERSITET.DK

Radiobier

Ved hjælp af bl.a. bittesmå radiosendere er det i de seneste år blevet muligt at opnå mere viden om, hvordan de vilde blomsterbestøvende insekter som humlebier færdes i agerlandet. Denne viden er vigtig i bestræbelserne på at vende den alarmerende tilbagegang af vilde bestøvere.

Forfattere

Yoko Luise Dupont, seniorforsker, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. yoko.dupont@biology.au.dk

Marie Vestergaard Henriksen, ph.d.-studerende, School of Biological Sciences, Monash University, Australien. marie_v_henriksen@hotmail.com

Melanie Hagen, ph.d., postdoc Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. melanie.hagen@web.de

I efteråret bugner haverne af blommer, æbler og pærer som et synligt resultat af de travle forårsinsekters arbejde med at flyve fra blomst til blomst i deres søgen efter føde. Mange afgrøder, heriblandt frugttræer, er afhængige af insekter, som bestøver blomsterne, for at der kan dannes frugter. Bestøverne tæller ikke kun de velkendte honningbier, men også en bred vifte af andre insekter, særligt vilde bier, svirrefluer og sommerfugle.

Men de vilde insekter er på retur. I de seneste år har flere og flere undersøgelser vist, at der er sket et fald i både artstal og for nogle arter også i bestandsstørrelser. Tendensen kan spores tilbage til 1950'erne og 60'erne og menes at hænge sammen med landbrugsintensiveringen, som medførte store ændringer i landskabet og landbrugspraksis, bl.a. brugen af sprøjtegifte og kunstgødning.

Den drastiske tilbagegang har skabt bekymring. Vilde bestøvere er en del af naturens mangfoldighed. Mange vilde planter sætter kun frø, hvis de bestøves af insekter, og et godt udbytte af vigtige afgrøder som raps, kløver og frugttræer afhænger også af insektbestøvning. Lidt mere præcist er værdien af bestøvning anslået til 14,2 mia. Euro i EU (i 2005). Så der er flere gode grunde til at bevare de vilde bestøvere og heldigvis også en spirende interesse for det.

Kunsten at følge efter et insekt

Hvis vi vil målrette indsatsen for at hjælpe de vilde bestøvere i naturen må vi have mere præcis viden om, hvor bestøverne opholder sig, og hvad de laver. Det er spørgsmål som: Hvor færdes vilde, blomsterbesøgende insekter? Hvor langt flyver de i landskabet? Hvilke behov skal dækkes indenfor deres aktionsområde? Er der et mønster i, hvordan de flyver mellem forskellige blomster? Eller sagt mere præcist: Hvordan udnytter bestøverne den rumlige dimension?

Prøv at følge efter en flyvende bi eller sommerfugl for at kortlægge dyrets flyverute. Det er slet ikke let – i hvert fald ikke over længere tid eller afstand! Derfor har forskere brugt forskellige metoder til at anslå, hvor langt bestøvere bevæger sig. Metoderne spænder fra lavpraktisk mærkning af insekterne, så de kan genkendes, til brug af avanceret teknologi som radar og radiosendere i miniformat.

Alle teknikkerne har fordele og ulemper. Hertil kommer, at bestøvere omfatter en mangfoldighed af insekter – og dermed en mangfoldighed af flyveadfærd. Så der er stor variation i målinger af flyveafstande og -mønstre fra forskellige undersøgelser, dels på grund af artsforskelle, dels på grund af forskelle i den anvendte metode.

Bestøvere bevæger sig generelt ikke langt

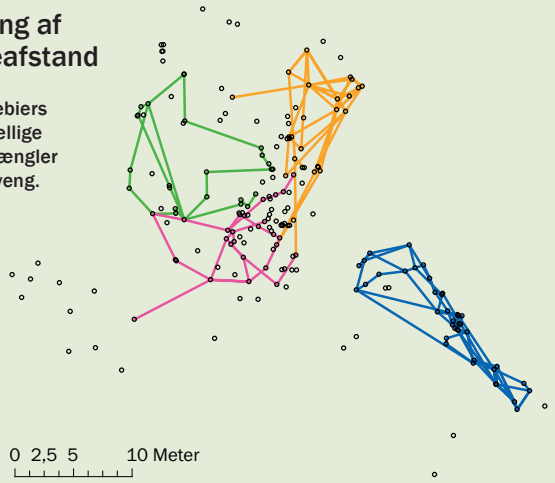
Tilsammen giver de forskellige målinger os et billede af, at bestøverne generelt er forholdsvis lokale. Der er både inden for sommerfuglene, bierne og svirrefluerne enkelte arter, som kan tilbagelægge store afstande. Honningbier kan flyve op til 10 km fra stadet til en god blomsterkilde, og visse sommerfugle kan flyve flere tusind kilometer på træk. Men hovedreglen er, at bestøverne søger føde inden for et begrænset område, ofte inden for et område på højst et par hundrede meter.

New zealandske forskere har i et simpelt forsøg i et agerlandskab i New Zealand udsat fælder i forskellig afstand (op til 100 meter) ud fra en blomsterstribe af planter med let genkendeligt pollen.

Metoder til måling af bestøveres flyveafstand

Figuren viser fire humlebiers flyveruter (de fire forskellige farver) mellem tidselstængler (cirklerne) i en lille skoveng.

Bemærk at hele blomsterpletten vokser på et område indenfor 50×50 meter.



Metoder til måling af bestøveres flyveafstand

A. Humlebi med et nummermærke (*opalithplättchen*) til fangst-genfangst undersøgelser.

Foto: Claus Rasmussen.

B. Humlebi med passiv elektronisk mærke (radiofrekvens-identifikation).

Foto: Levente Orban.

C. Humlebi med aktivt elektronisk mærke (radiosender).

Foto: W. Daniel Kissling.

D. Håndholdt antenne til radiotelemetri.

Foto: W. Daniel Kissling.

Der findes en vifte af forskellige teknikker til at måle de afstande, som humlebier tilbagelægger i landskabet.

Fangst-genfangst

Ved denne metode fanges humlebier (eller andre dyr) og mærkes, således at de kan genkendes ved senere fangst et andet sted ("genfangst"). Afstanden, som det mærkede dyr har tilbagelagt fra udsætningsstedet til genfangststedet, giver et fingerpeg om, hvor langt dyret kan flyve.

Mærkning kan være farver eller numre (A), som sættes på dyret, men kan også være indsamlet pollen, som let kan kendes. Denne metode er lavteknisk, men genfangst kan være meget tidskrævende. I praksis lader metoden sig kun gøre ved kortere afstande.

Mikrosatellitter

En genetisk teknik, som kan bruges til sociale insekter, og som tager udgangspunkt i, at alle arbejderbier fra samme koloni er søstre. Ved at sammenligne den genetiske lighed af arbejdere fra forskellige prøvetagningssteder kan man anslå størrelsen af det område, som bier fra en given koloni søger føde i. Genetiske mønstre er et indirekte mål for fødesøgningsafstanden, og anslår kun omtrentligt, hvor langt humlebier bevæger sig.

Avancerede elektroniske metoder

Omfatter en bred vifte af metoder, hvor dyrenes bevægelser følges via elektronisk mærkning af dyret. I teknikker med passive mærker påsættes dyret små stregkoder eller lignende, som kan aflæses af en central modtager (B). Aktive mærker bruges i radiomærkning, hvor en lille bitte radiosender aktivt sender information om placering til en modtager (C-D).

Passive mærker kræver ikke nogen strømforsyning, og mærkerne er langt billigere end aktive mærker (selvom modtageren kan være dyr), hvilket muliggør mærkning af et stort antal dyr. Til gengæld skal de passive mærker forholdsvis tæt på modtageren for at blive registreret, hvilket sætter begrænsninger for området, som kan udforskes. Brugen af aktive mærker har dog også store udfordringer, særligt vægten af senderne, samt prisen.

De forskellige metoder giver hver deres bud på, hvor langt bestøverne flyver. For mørk jordhumle (*Bombus terrestris*), en af de mest almindelige humlebiarter i Danmark, er der ved fangst-genfangst målt flyveafstande på 0,3-1,75 km. Genetisk analyse anslog den største fødesøgningsafstand til 0,87-3,9 km. Endelig er flyveafstanden blevet målt til 0,7 km med passive mærker, samt op til 2,5 km ved radiomærkning. Resultaterne foreslår tilsammen, at mørk jordhumle flyver forholdsvis langt i forhold til andre bestøvere, men at der er stor spredning på målingerne.

En undersøgelse af tarmindholdet af de indfangede svirrefluer viste, at dyr som havde spist pollen fra beplantningen generelt ikke bevægede sig længere end 20 meter væk.

På en lille skoveng i Moesgård syd for Aarhus har vi prøvet at kortlægge humlebiers flyverute mellem blomstrende tidsler ved at følge mærkede humlebier mellem nummererede tidselstængler. Tidslerne var humlebiernes foretrukne fødekilde, og langt hovedparten af humlebierne besøgte udelukkende tidselblomster. Men på trods af, at tidselstænglerne hovedsageligt voksede i et område på 50×50 meter, besøgte hver humlebi typisk den samme lille samling blomster, og fløj derfor inden for et meget afgrænset område. Vi ved ikke, hvorfor humlebierne deler blomsterpletten mellem sig: Om det er for at nedsætte konkurrence mellem artsfæller, undgå rovdyr, eller en helt tredje grund.

Krav til landskabet

Ud over tilstedeværelsen af blomster har bestøvere som regel andre krav, som skal være opfyldt i de områder, de lever i. Det kan være særlige behov for redepladser, larvefoder, parrings- eller overvintringssteder. Sommerfugles larver er planteædere, og nogle arter kan kun opfostres på helt bestemte plantearter. Bier har brug for redesteder – nogle arter bygger rede i jordhuller, andre i strå og atter andre i forladte sneglehuse eller andre hulheder. Vi har dog ofte kun brudstykker af viden om forskellige bestøver-arters behov gennem livet.

En af de grupper af vilde, blomsterbesøgende insekter, som vi utvivlsomt kender mest til, er humlebier. De er iøjefaldende og flere arter hører til blandt de mest almindelige og udbredte vilde bestøvere. Som andre bier søger humlebier (dronninger og arbejdere) føde i et område omkring reden (boks side xx). Den sociale levevis, hvor der opbygges en koloni, gør, at humlebier generelt har et højt ressourcebehov. Inden for flyveafstand af reden har de derfor brug for et varieret landskab, hvor der både er redested, redemateriale og blomsterressourcer til stede igennem koloniens levetid. Nye undersøgelser med radiomærkning har kastet lys over, hvordan humlebier udnytter landskabet.

En svirreflue (*Volucella pelluscens*) besøger blomsterne på kærtidsel (*Cirsium palustre*). Svirrefluen bliver støvet til med pollen, som den bærer til den næste blomst, den besøger.

Foto: Claus Rasmussen

Humlebier med radiosender

Det er nu blevet muligt at lave radiosendere så små, at man kan bruge dem på større insekter som fx guldsmede, sommerfugle og bier. I de seneste år har vi udforsket humlebiers færden i landskabet ved radiotelemetri. En lille sender limes fast til humlebiens bagkrop, og afhængig af biens størrelse kan senderen veje helt op til 100 % af biens vægt. Det er selvfølgeligt en stor belastning, men humlebier er vant til at være tungt læsset med pollen og nektar og er i stand til at flyve med den elektroniske rygsæk.

Med radiosenderen kan man følge humlebierne over meget større afstande end det tidligere har været muligt. Tidligere undersøgelser af humlebier er lavet inden for et mindre område, hvor humlebierne søger føde. Men hvad sker der, når humlebierne forlader blomsterengen? Skal de direkte hjem til reden, skal de videre til en anden blomstereng eller holder de pause?

Hvad fortæller radiosenderne?

Med radiosendere har vi fulgt arbejdere, der fløj helt op til 2,5 km væk fra reden. Lange flyveture er især nødvendige i de intensivt dyrkede og fragmenterede landskaber, man finder i det meste af Nordeuropa, hvor der ofte er langt imellem de vilde blomster. For de sociale humlebier er en anden grund til at sprede sig, at de herved undgår konkurrence om blomsterne med søskende fra deres egen koloni.

Når humlebierne flyver over så store afstande, er det vigtigt, at de er effektive – dvs. at de finder mest mulig mad, mens de bruger mindst mulig energi. Derfor er humlebierne gode til at huske og genkende steder. De orienterer sig efter punkter i landskabet og bruger linjer som hegn til at finde vej mellem deres foretrukne blomstersteder. Med de erfaringer, de gør sig på hver udflugt fra reden, sammensætter de efterhånden en optimal rute gennem landskabet. Man ved endnu ikke nok om, hvordan disse flyveruter etableres og fastholdes, men med radiosenderne vil man kunne blive klogere på det i fremtiden.

Radiosenderne viste desuden, at en del af humlebierne fløj op og sad stille i nærliggende træer mellem blomsterbesøgene. Omfanget af disse pauser og de steder, humlebierne sætter sig, er overraskende. Humlebierne kan tænkes at spare energi ved blot at sætte sig på blomsterne eller i reden, men ved i stedet at flyve op i et træ, kan de måske undgå at blive opdaget af rovdyr som edderkopper og fugle eller køle lidt af på en varm sommerdag.

Fremtidens teknologi

På trods af, at de seneste års undersøgelse har givet nyt indblik i humlebiernes færden i landskabet, har vi stadig kun taget de første skridt på vejen. En af de store begrænsninger i at følge insekter med aktive sendere er størrelsen på senderne. På trods af, at de mindste sendere kun vejer 200 mg, er det en stor belastning for et insekt, selv for de store, robuste humlebier. Vore undersøgelser viser, at radiomærkede humlebier arbejder langsommere på blomster, og holder længere hvil end umærkede humlebier. Men måske bliver det muligt med fremtidens teknologi at udvikle en endnu mindre radiosender? ■

Dronning.
Foto: Henning B. Madsen

Æg.
Foto: Marie V. Henriksen

Celler med larver og honning.
Foto: Marianne B. Pedersen

Ny dronning (øverst)
Han (nederst)
Foto: Henning B. Madsen

Koloni.
Foto: Yoko L. Dupont

Arbejdere
Foto: Yoko L. Dupont

Humlebiernes livscyklus

Om foråret kommer de overvintrede humlebidronninger frem fra deres hi og begynder at lede efter redesteder. Når dronningen har fundet et egnet sted, bygger hun sin rede, lægger æg og opfostrer de første larver. Larverne forpupper sig og bliver til arbejderbier. Arbejderne overtager herefter en del af arbejdet i reden samt arbejdet med at finde føde i landskabet. Dronningen bliver ved med at lægge nye æg, og kolonien vokser sig langsomt større.

Sidst på sæsonen, inden kolonien går i opløsning, bliver der produceret hanner og nye dronninger. Den gamle dronning dør, mens de nye dronninger parrer sig, provianterer og graver sig ned i jorden, hvor de overvintrer til næste forår, og en ny cyklus kan begynde.

Mens dronningen etablerer kolonien i foråret behøver hun kun at dække sit eget og de første larvers fødebehov. Men efterhånden som kolonien vokser, og flere og flere arbejderbier flyver ud i landskabet, stiger koloniens fødebehov.

Ved at sætte radiosendere på dronninger i foråret har vi set, hvordan de i dette stadium foretrækker blomster, som ligger tæt på det område, de har valgt til deres reder. Ved at flyve korte afstande sparer dronningen energi, som i stedet kan bruges på at starte den nye koloni. Senere på sæsonen, hvor koloniens fødebehov er større og bliver dækket af mange arbejderbier, er det ikke længere de lokale blomster, der er vigtigst, men i stedet udbuddet af blomster i hele det omgivende landskab.

Læs mere

Dupont, Y. L. 2012. Nu er det bevist: Humlebierne er på retur. Aktuel Naturvidenskab 2:6-9.

Hagen, M., M. Wikelski, and W. D. Kissling. 2011. Space use of bumblebees (*Bombus spp.*) revealed by radio-tracking. PLoS One 6:e19997.

Henriksen, M. V. 2013. Landscape-scale behavior of colony-establishing bumblebee queens (*Bombus canariensis*). Specialeprojektet kan downloades via: http://studerende.au.dk/fileadmin/bioscience/Uddannelse/Specialerapporter_og_abstracts/2013-02-15_Marie_Henriksen_speciale_II_.pdf

Lövei, G. L., A. Macleod, and J. M. Hickman. 1998. Dispersal and effects of barriers on the movement of the New Zealand hover fly Melanostoma fasciatum (Diptera, Syrphidae) on cultivated land. Journal of Applied Entomology 122:115-120.

Madsen, H. B. and Y. L. Dupont. 2013. Vilde bier. Natur og Museum 1:1-36.

FÅ **NYT** FRA **FORSKNINGEN**

Foto: Søren Kjeldgaard/ AU-foto

Teknologihistorielærerdag
– torsdag 24. oktober 2013

Biologilærerdag
– fredag 25. oktober 2013

Kemilærerdag
– fredag 17. januar 2014

Fysiklærerdag
– fredag 24. januar 2014

Nanosciencedag
– fredag 21. marts 2014

Matematiklærerdag
– fredag 28. marts 2014

Astronomidag
– fredag 28. marts 2014

Naturgeografi- og Geovidenskablærerdag
– torsdag 10. april 2014

Deltag i en af vores gymnasielærerdage
på Aarhus Universitet
– og få faglig inspiration.

Deltagelse er gratis, men kræver tilmelding.

AARHUS
UNIVERSITET

Scan koden med din mobil
eller læs mere på
www.scitech.au.dk/gymnasielærerdag

Krystallografi

- kemikerens genfundne redskab

Krystallografi betyder kort og godt "måling af krystaller". De seneste årtier er krystallografien blevet genfødt som disciplin og er i dag et af kemikerens allervigtigste værktøjer til at afsløre den grundlæggende opbygning og struktur af alverdens faste stoffer.

Det er et veletableret faktum indenfor al materialekemi, at *struktur* og *egenskaber* hænger sammen. Med "struktur" mener man den atomare opbygning af materialerne. Under "egenskaber" hører bl.a. alt det, der gør materialer værdifulde for vort samfund. For at forstå egenskaberne skal man altså forstå opbygningen på et meget grundlæggende plan. Det er den, der er roden til alt det, vi kan se, føle og opleve i alle faste stoffer, vi har omkring os i vor hverdag. For bare at nævne nogle få eksempler: farver, lysbrydning, hårdhed, elasticitet, smeltning og fordampning, elektrisk eller termisk ledningsevne, halvleder-egenskaber, magnetisme, katalytisk aktivitet og al kemisk reaktivitet i øvrigt.

Når man skal udforske nye og forbedrede materialer, skal man derfor først forstå strukturen for dernæst (med kemiske metoder) at ændre den, så egenskaberne følger med – i retning af det ønskede.

Krystallografi er en af de mest fremragende metoder, vi har, til at bestemme struktur i materialer. Faktisk er indsigten endnu mere fundamental: Det er de enkelte *elektroner* i materialet, som opspores vha. krystallografi. Da de fleste elektroner er bundet tæt omkring atomernes kerner, afslører elektronernes position automatisk atomernes placering. Men elektroner er også "kemiens lim": De er essensen af alle de kemiske bindinger, der holder vores verden sammen. Krystallografisk kan man altså studere elektron-tæthederne i materialet – med andre ord "se" de kemiske bindinger mellem atomerne, hvor stærke de er, "lone-pair" elektroner, ikke-bindende elektronskyer og alt ind imellem.

Det eneste krav til selve materialet er normalt, at strukturen skal være krystallinsk. Hermed siger man blot, at atomerne skal sidde "pænt" i et ordnet 3D-gitter. Et sådant gitter er intet andet end et simpelt, grundlæggende mønster af atomer (kaldet *enhedscellen*), som gentages igen og igen i alle tre dimensioner, og til sidst udspænder en krystal, vi både kan se og røre ved.

Krystallinitet er heldigvis et meget udbredt arrangement – ikke kun for de materialer, vi er vant til at tænke på som krystaller som fx smykkesten. Stort set alle metaller og legeringer, keramiske stoffer, mineraler, organiske stoffer og biomolekyler danner krystaller. Bordsalt fra køkkenet, isen i fryseren, chokoladen i slikskålen eller sukkeret, vi drysser på morgenmaden, er krystallinsk. Vore knogler, tændernes emalje og magneterne på køleskabet er krystallinske. Selv papiret i printeren er delvist krystallinsk. Årsagen er gennemgående, at den krystallinske konstruktion fra naturens hånd udgør den mest optimale "pakning" af atomer og molekyler. Det betyder, at den også bliver den mest energetisk favorable.

Krystallografi i grundtræk

I fysikundervisningen i gymnasiet har mange gennemført en øvelse, der involverer en helium-neon-laser, et gitter og ca. 5 lyspletter på en væg. Disse lyspletter er resultatet af konstruktiv og destruktiv interferens, der opstår, når laserstrålen brydes igennem gitteret. Når man har et materiale og ønsker at kende strukturen, benytter man samme slags eksperiment. Her udnytter man imidlertid, at gitteret ikke behøver være et 2D-gitter – det kan også være et 3D-gitter, såsom en krystal, herunder ethvert krystallinsk materiale.

Forfatterne

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

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

Jacob Overgaard er er Senior Scientist og krystallograf
jacobo@chem.au.dk

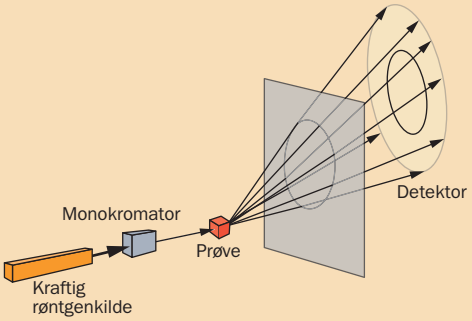
Baggrundsbillede: Mogens Christensen

Center for Materialekrystallografi

Aarhus Universitet er en af de institutioner i verden, der er i front med udvikling og udnyttelse af materialekrystallografi. Forskningen er her samlet i *Center for Materialekrystallografi,* forkortet CMC efter centerets engelske navn, under ledelse af professor Bo Brummerstedt Iversen. Centeret er baseret på en stor bevilling fra Danmarks Grundforskningsfond og samler flere af feltets internationalt førende forskere og faciliteter – bl.a. ved synkrotroner – fra Tyskland, Italien, USA, Japan og Australien.

Krystallografens værktøj

Krystallers diffraktion måles ikke overraskende ved hjælp af *diffraktometre.* De består først og fremmest af en kilde til røntgenstråling samt en *monokromator,* der piller en enkelt bølgelængde ud af den samlede stråling. Det betyder, at kun en lille del af strålingen kommer igennem, og det er derfor vigtigt at have så intense kilder til at begynde med som muligt.
Ved hjælp af spejle fokuseres den monokromatiske stråling på det materiale, man måler på. Noget af strålen passerer upåvirket lige igennem prøven, men en del bliver til diffraktion. Bag ved prøven sidder et røntgenkamera – en detektor – der opfanger diffraktionsmønsteret. Detektoren er ofte baseret på samme CCD-teknologi som den, vi kender fra almindelige digitalkameraer. Prøven er monteret på en motoriseret holder, så den kan vendes og drejes på forskellig måde alt efter hvilken metode, man benytter. Tilsvarende vil der også være en anordning til at nedkøle prøven, typisk til -173°C, som er lidt over temperaturen af flydende kvælstof.



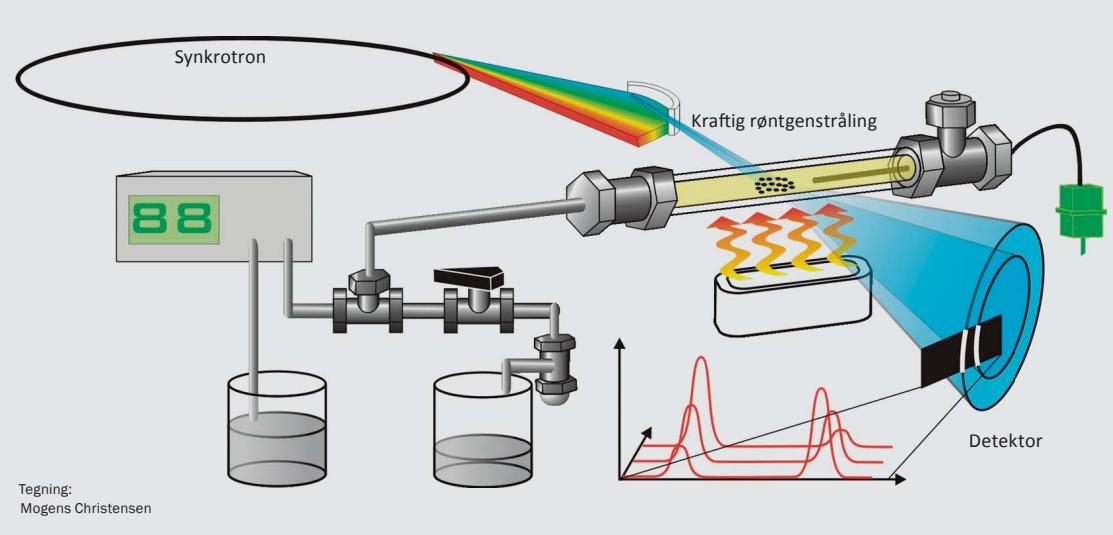
Det gør man for at dæmpe atomernes termiske vibration. Diffraktionseksperimentet giver ikke nogen eksakt position af hvert atom, men blot et tidsgennemsnit af positioner henover det område, atomet vibrerer i. Det giver dårligere data ved højere temperatur og derfor mere besværlig strukturbestemmelse end for data målt ved lave temperaturer.

Spredningsfænomenet fra krystallinske materialer kaldes for *diffraktion* og laves med monokromatisk røntgenstråling i stedet for en laser. Det komplekse 3-dimensionelle gitter betyder, at man ikke længere får blot en håndfuld diffraktionspletter som i laser-eksperimentet. Man har en hel stjernehimmel, og får endnu flere, efterhånden som man vender og drejer krystallen. Til slut kan man bruge en computer til at regne sig tilbage til præcis, hvordan gitteret ser ud – i alle 3 dimensioner. Og da gitteret jo er opbygget af de enkelte atomer, afslører diffraktions-intensiteterne præcis, *hvor* atomerne og alle deres elektroner sidder i enhedscellen – og derfor i hele materialet, fra ende til anden.

Nye horisonter

For et par årtier siden var krystallografi på vej i mølposen, dømt ude som en lidt begrænset teknik i et udtømt forskningsfelt. Heldigvis tog man fejl. Gennem det seneste årti er krystallografi ikke blot blevet genfødt men udviklet og avanceret i ekstrem grad. Fremkomsten af store computere har fx betydet, at man kan overstå strukturbestemmelse, der før tog uger og måneder, på blot få timer. Samtidig er der udviklet stadig større, kraftigere og bedre røntgen-kilder. Blandt de bedste er *synkrotroner* – kæmpemæssige maskiner, typisk på størrelse med et fodboldstadion, og derfor ikke hvermandseje. De få, der findes, har imidlertid betydet en revolution af al materialevidenskab. Indenfor krystallografien er det blevet muligt at udføre eksperimenter, som tidligere var utænkelige.

Ved *Center for Materialekrystallografi* (CMC) søger vi at forbedre vor grundlæggende indsigt i sammenhængen mellem kemisk binding, struktur og de utallige materialeegenskaber. Det kræver, at forskerne bedriver krystallografi på nye og udfordrende måder, ofte ved hjælp af unikt apparatur og metoder, centeret selv har udviklet. Krystallografien kobles desuden til en lang række andre målinger og analysemetoder, der direkte belyser og kvantificerer materialeegenska-



Den eksperimentelle opstilling bag "live"-optagelserne af nanokrystallers fødsel og opvækst. Cirklen øverst repræsenterer synkrotronen, hvorfra røntgenstråling kommer ud og rammer den opvarmede, tryksatte mini-reaktor, hvori nanokrystallerne dannes. Deres "fingeraftryk" fanges på detektoren.

Enkrystaller og pulvere

Der er to dominerende målemetoder indenfor krystallografi: *Enkrystal-diffraktion* og *pulver-diffraktion.*

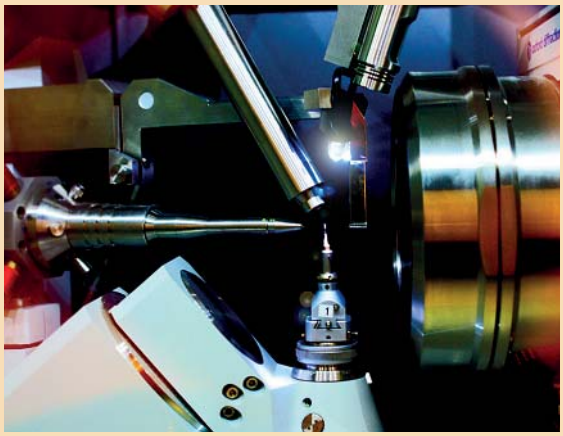
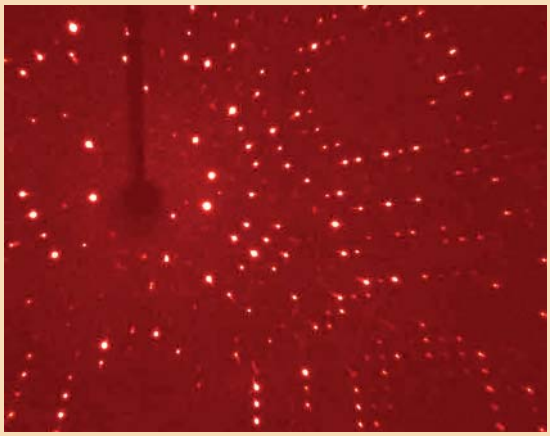


Foto: Henrik Volkersen

Et kig ind i et enkrystal-diffraktometer. Krystallen, der er ca. 0,3 mm stor, sidder fast på den lille, hvide nålespids i centrum af billedet. Røntgenstrålen kommer fra venstre, detektoren sidder til højre og ovenfra (fra venstre) kommer en strøm af N_2-gas, som nedkøler prøven til -196°C.



Kredit: Espen Eikeland

Et enkrystal-diffraktogram i rå form, lavet på forbindelsen $C_{60}H_{116}Ba_2O_{24}$ og optaget under Grundkurset i Krystallografi ved Aarhus Universitet – et lille stykke grundforskning udført af studerende.

Enkrystal-diffraktion benyttes især, når man vil finde strukturen af et nyt, ukendt materiale. Metoden bruger en enkelt, veldannet krystal af stoffet, ca. 0,3 mm stor. Diffraktionen kommer ud som enkeltstående, skarpe stråler, som giver et pletmønster ("stjernehimmel") på diffraktometerets detektor. Hvis man roterer krystallen en smule, får man en ny stjernehimmel, fordi andre dele af krystalgitteret nu bringes ind i en position, hvor det kan sprede den indkommende røntgenstråling. Fortsætter man nogle tusind gange til andre, nye positioner, og har man et kamera (en detektor) til at optage placeringerne og intensiteterne af alle diffraktionspletterne undervejs, kan en computer efterfølgende stedsbestemme alle elektronerne i materialet, og derigennem afsløre placeringen af alle atomer og kemiske bindinger.

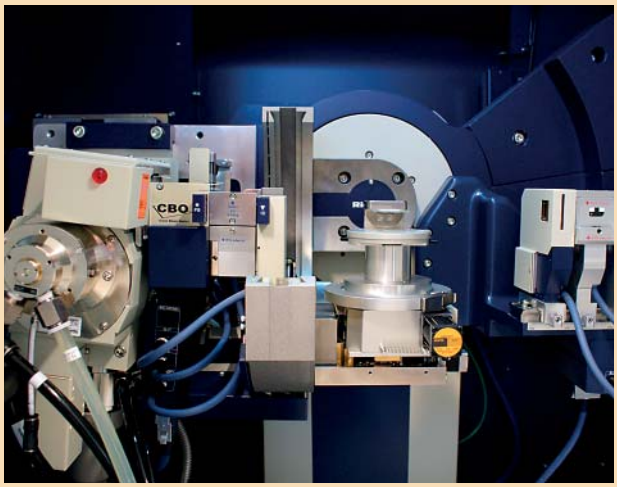
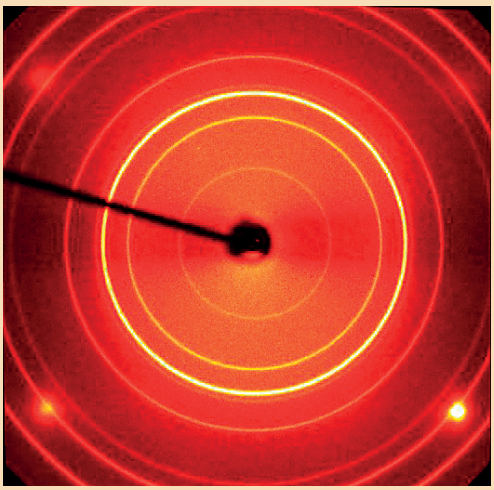


Foto: Henrik Volkersen

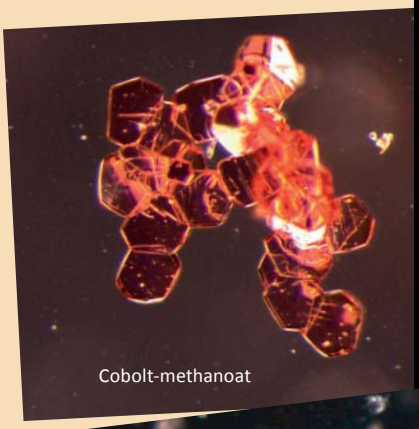
Et kig ind i et pulverdiffraktometer. Prøven monteres på en glasplade, der sidder i centrum af opstillingen, midt i billedet. Til venstre sidder røntgenkilden, til højre sidder detektoren.



Kredit: Henrik L. Andersen

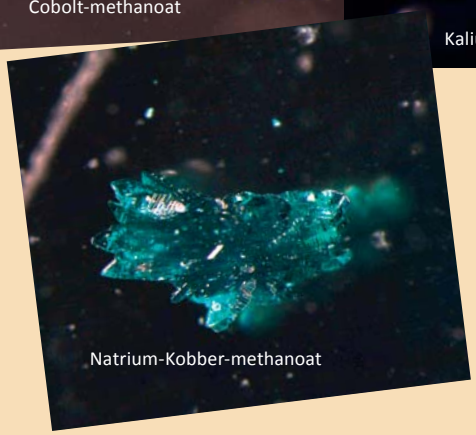
Råt pulver-diffraktogram af γ-Fe_2O_3 nanopartikler, et magnetisk materiale. De enkeltstående diffraktionspletter kommer fra prøveholderen, som er en safirkrystal (α-Al_2O_3).

Pulver-diffraktion benytter et krystalpulver, dvs. der måles *samtidigt* på mange tusind bittesmå krystallitter af det samme stof. Den kollektive diffraktion gør, at mønsteret på detektoren nu ikke længere er pletter, men koncentriske ringe med den direkte (ikke-spredte) røntgenstråle som fælles centrum. Pulverdiffraktion anvendes knap så ofte til at udforske ukendte strukturer, men benyttes i vidt omfang til at analysere struktur og egenskaber i allerede kendte materialer. Metoden er hurtig og nem og en måling, der tager 10 minutter kan efterfulgt af et hurtigt opslag i en database fx straks afsløre, om et synteseprodukt er det ønskede stof eller noget andet. Det svarer til at tage et "fingeraftryk" af materialet. Yderligere analyse kan fx afsløre størrelsen af krystallitterne, enhedscellens dimensioner, spændinger i krystalgitrene og meget mere.

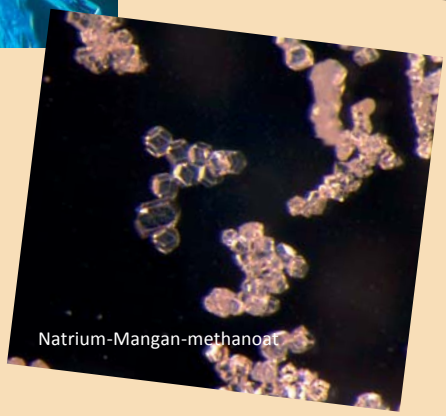

Cobolt-methanoat

Kalium-Kobber-methanoat

Kalium-Mangan-methanoat


Natrium-Kobber-methanoat

Eksempler på metal-organiske materialer kaldet methanoater (methanoat er basesaltet af myresyre). De har været studeret bl.a. for deres magnetiske egenskaber. Billederne er taget gennem mikroskop. Fotos: Espen Eikeland


Natrium-Mangan-methanoat

Forbedrede materialer

Studier af materialer har stor betydning for udviklingen af bedre materialetyper, der er vigtige for samfundet:

Magneter er hjertet i enhver elmotor i vores samfund. Vi har magneter i biler, køleskabe, ventilatorer og stort set alle eldrevne husholdningsmaskiner samt indeni alle el-generatorer. Bedre magneter betyder bedre motorer samt bedre kraftværker, vindmøller, etc.

Solcellematerialer er et intenst forskningsområde. I dag laves de fleste solceller af ultra-rent silicium, som er dyrt og krævende at fremstille. Man undersøger derfor i stigende grad potentielt billigere materialer i form af ikke-metalliske celler, der fx kan være baseret på TiO_2 (et keramisk stof, kendt fra bl.a. solcreme) eller metal-sulfider som Cu_2ZnSnS_4.

Termoelektriske materialer kan omdanne en temperaturforskel direkte til en spændingsforskel. Dermed kan materialerne omdanne spildvarme direkte til strøm, fx spildvarmen i bilmotorer. Omvendt kan man ved at "tilsætte strøm" få en temperaturforskel ud af det og dermed et miniature-kølemodul. De seneste års forskning på Aarhus Universitet har bragt store fremskridt til denne klasse af materialer.

Batterimaterialer omfatter fx de Lithium-ion batterier, der gennem de seneste to årtier har vundet indpas i alt fra bærbare computere, mobiltelefoner og tablets til elbiler. En ny milepæl vil være at udvikle store, stationære Li-ion batterier, der egner sig som "buffer" i elforsyningen. Det er særlig vigtigt, når man baserer energiforsyningen på vedvarende energi (fx sol og vind), hvor produktionen ikke altid passer med forbruget.

ber. Avanceret materialekemi kræver derfor en stor besætning af forskelligt måleudstyr.

Se kemien på film

Takket være synkrotronerne kan pulver-diffraktionsmålinger nu udføres på blot 1-2 sekunder. Det betyder, at man kan studere kemiske reaktioner "live", blot de har en aktivitet, der udfolder sig på en lidt længere tidsskala. Et eksempel på sådanne reaktioner er syntesen af nanopartikler eller "nanokrystaller", der heldigvis spreder røntgenstråling lige så glimrende som større krystaller.

En af de rigtig gode metoder til at fremstille nanopartikler er solvotermal syntese – dvs. kemi ved trykkogning. Det er samme kemi, som man ellers ville lave det i et bægerglas, men overført til trykbeholdere, så man kan hæve temperaturen af opløsningsmidlet til langt over dets normale kogepunkt. Varmen sætter de kemiske reaktioner i gang, som fører til, at der dannes fast stof i form af nanopartikler.

Indenfor CMC har vi udviklet "mini-reaktorer", som man kan skyde direkte igennem med røntgenstråling. I dem kan man lave synteser ved op til 500°C og 300 atmosfærers tryk. Når reaktorerne bruges ude ved synkrotronerne rundt om i verden, bliver hvert måleresultat – hvert *diffraktogram*, som det kaldes – til et enkelt billede i en speciel "film". Disse film viser fødslen og opvæksten af nanokrystaller indeni reaktoren med en tidsopløsning på nogle få sekunder. Den videre dataanalyse afslører udviklingen af partikelstørrelser, strukturændringer, enhedscellens dimensioner og meget mere.

Atomer parvist

Til live-studierne af nanokrystallerne nævnt ovenfor anvender vi også en metode kaldet *pair distribution function* analyse (forkortet PDF-analyse). Opsætningen er næsten den samme som til pulverdiffraktion. Men i stedet for blot at være interesseret i den stråling, der kommer ud som diffraktion, opsamler man *al* den spredte stråling fra materialet, ofte ud til meget høje spredningsvinkler. Ved en særlig form for dataanalyse kan disse målinger laves om til et kort over de afstande, der er mellem atomer i materialet. Vel at mærke *alle* afstande mellem *alle* atomer i materialet målt ud i ångstrøm (10^{-10} meter). Hver afstand giver en top i PDF'en. Jo flere gange afstanden gentager sig i materialet, desto højere bliver toppen. Det betyder, at fx nærmeste naboer blandt atomerne bliver stærkt repræsenteret, og man kan derfor straks gennemskue det kemiske miljø, der omgiver ethvert atom i materialet – både nært og fjernt.

PDF-analyse har den enorme fordel, at den ekstraordinært *ikke* kræver et krystallinsk materiale. Alle kemiske stoffer kan undersøges. I "live"-studierne betyder det fx, at man kan studere selve udgangskemikaliernes indbyrdes strukturer og reaktioner i opløsningen, fx som metal-organiske komplekser, *før* nanopartiklerne overhovedet dannes. Dermed kan man gennemskue langt mere af kemien bag synteserne.

Ekstrem syntese, ekstreme materialer

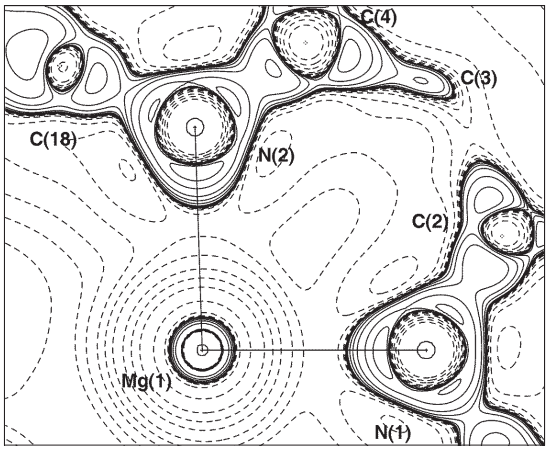
Ved CMC udforsker vi også helt nye eller meget sjældne strukturer, som kun dannes i materialer, der opstår under ekstreme betingelser. Et eksempel er ekstremt højt tryk. Tryksætning kan nemlig drive en kemisk reaktion, eller en strukturomdannelse, på samme måde som høje temperaturer. Til formålet bruger vi en ultra-højtrykspresse, som kan generere tryk på op til 250.000 atmosfærer – samme tryk som findes nede i jorden i flere hundrede kilometers dybde. Det gør det muligt at danne geologisk relevante materialer, som ellers aldrig ville opstå på jordoverfladen. Det kan give indsigt i, hvilke kemiske reaktioner der foregår i undergrunden. Takket være specielle prøveceller kan forbindelserne også monteres direkte på et af CMC's enkrystal-diffraktometre, mens de er sat under tryk, så struktur-omdannelser kan studeres direkte som funktion af trykforholdene.

Ny teknologi – nye gennembrud

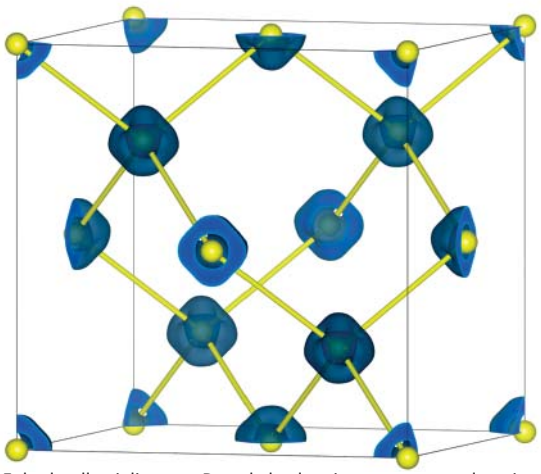
Med arsenalet af avancerede metoder har vi opnået mange spændende resultater. Fx har forskere ved CMC for nylig vist eksperimentelt, at selv de inderste elektroner i materialer – altså dem, der sidder helt inde ved atomkernerne – faktisk også påvirkes af kemisk binding. Det strider imod gængse lærebøger i kemi, hvor man typisk antager, at kemiske reaktioner *kun* involverer de yderste elektroner, og at de inderste elektronskyer er helt upåvirkede og derfor sfæriske/kugleformede.

Det eksperimentelle gennembrud er sket takket være et nyt og unikt pulver-diffraktometer, som CMC har udviklet sammen med firmaet J.J. X-ray og Københavns Universitet. Her sidder krystalpulveret, man måler på, i et tyndt kapillarrør af glas, som er sat op i et komplet vakuum. Luft spreder nemlig også røntgenstråling, og det var hypotesen, at man ved at fjerne luftspredning samt alle andre støjfaktorer, kunne opnå så gode pulver-diffraktogrammer, at de kunne afdække faconen af de inderste elektronskyer. Efter mere end 3 års udviklingsarbejde lykkedes det og grænserne for, hvad vi er i stand til at "se" i kemiens verden er endnu engang blevet rykket. ■

Videre læsning:
År 2014 er udnævnt til krystallografiens år. Læs mere på: www.iycr2014.org



Udsnit af et kort over elektronkoncentrationer, der laves som tværsnit igennem strukturens enhedscelle. Jo kraftigere linjerne er, desto højere er elektronkoncentrationen. Bemærk, hvor tydeligt man ser atomerne (her Magnesium, Nitrogen og Carbon), alle bindingerne imellem dem *og* de to lone-pairs (dvs. ikke-bindende elektroner), der peger fra Nitrogen ind mod Magnesium.
Illustration: Jacob Overgaard



Enhedscellen i diamant. De gule kugler viser atomernes placering. De blå skygger illustrerer afvigelsen mellem kugleformede og ikke-kugleformede elektronskyer inde nær atomkernerne. Ifølge gængs teori skulle der ikke være nogen afvigelse overhovedet; den skyldes imidlertid de kemiske bindinger. Data er optaget med CMC's vakuum-diffraktometer. Illustration: Niels Bindzus

Videnskabelig

- styrke eller hæmsko?

Som anvendt disciplin står ferskvandsøkologien i dag betydeligt stærkere end den terrestriske økologi. En væsentlig årsag hertil er forskellige traditioner for tværfagligt arbejde indenfor de to discipliner.

Udover nye ideer har nye teknikker og målemetoder til stadighed været en vigtig drivkraft bag naturvidenskabelige landvindinger. Inddragelse af fysiske og kemiske målemetoder fra år 1880, radioaktive isotoper siden 1940, automatisk måleudstyr siden 1960, hurtige computere siden 1980 og DNA-teknologi siden 1990 har drevet den biologiske forskning fremad. Det har stimuleret mange biologiske discipliners udvikling, at fysikere, kemikere og ingeniører er blevet direkte involveret i forskningen, eller at biologer er blevet oplært i deres metoder.

Fysikkens større fokus på lovmæssigheder og ingeniørens fokus på praktiske anvendelser skabte en frugtbar modpol til biologens oplevelse af en kompleks natur, som er vanskelig at forudsige og sætte på matematiske formler. Mens fysikere og ingeniører aktivt engagerede sig i ferskvandsøkologien, skete det kun i yderst begrænset omfang i den terrestriske økologi. Og som vi skal se, har det begrænset anvendeligheden af den terrestriske økologi.

Fælles sprog

Samarbejde mellem forskningsdiscipliner kræver et fælles sprog, en fælles videnskabelig metode og en gensidig dedikation for at blive en succes. Da biologen James Watson og fysikeren Francis Crick satsede på at afdække DNA's struktur gav det pote ved at kombinere krystalstruktur, molekylmodeller og krav til molekylets opbygning. Da ferskvandsbiologer og ingeniører sammen satsede på at udvikle modeller for søers økologiske tilstand, lykkedes det i 1965-1975 at opstille matematiske løsninger for søvandets indhold af fosfor som funktion af fosfortilførslen fra oplandet, tilbageholdelsen i søbunden og vandets opholdstid. Herefter etablerede målinger i flere hundrede søer sammenhængen mellem søens fosforkoncentration og indholdet af planktonalger, vandets klarhed og risikoen for iltsvind i bundvandet.

Det fælles udgangspunkt var en kvantitativ tankegang og en stræben efter generelle principper. Ligesom man havde en forventning om, at DNA-molekylet havde samme grundstruktur i forskellige arter, så forventede man, at fosfor havde samme betydning for mængden af planktonalger i søer uanset disses beliggenhed, størrelse og artsindhold.

Vi betoner denne generaliserende og kvantitativt-statistiske tankegang, fordi den ofte hæmmer meningsfulde tværgående forskningsprojekter mellem naturvidenskab og ikke-naturvidenskab, når sidstnævnte arbejder beskrivende eller fortolkningsorienteret med emnet. Så tværfagligt samarbejde kan skabe videnskabelige gennembrud, når forskernes sprog og metoder passer sammen og kan føre til sammenbrud, når de ikke gør.

Økosystemer og modeller i ferskvandsøkologi

Økologiens historiske udvikling fulgte fra starten for 150 år siden forskellige spor i ferskvand og på landjorden. Da læren om ferskvand blev grundlagt som videnskabelig disciplin, skete det med baggrund i en økologisk helhedsopfattelse af søen som et afgrænset system i vekselvirkning med oplandets jordbund, arealudnyttelse og søens biologi. De toneangivende ferskvandsøkologer oplevede, at de søsatte en helt ny disciplin uden bånd til klassisk botanik og zoologi. Schweizeren Francois-Alphonse Forels tre bøger om Genevesøen (1892-1904) behandlede geologien, de fysiske og kemiske forhold og den gensidige påvirkning mellem disse og arternes tilstedeværelse i søen. Forel udviklede flere måleapparater, så fysiske målinger af vandets temperatur, farve og bølger var med fra starten.

Herhjemme havde den første professor i ferskvandsbiologi, Carl Wesenberg-Lund (1867-1955) sin baggrund i ferskvandsdyrenes biologi. Men da han grundlagde Ferskvandsbiologisk Laboratorium i 1897 fandt han sine tidligere studier: »for snævre

Forfattere

Kaj Sand-Jensen er professor i ferskvandsøkologi
ksandjensen@bio.ku.dk

Hans Henrik Bruun er lektor i terrestrisk økologi
hhbruun@bio.ku.dk

Begge er ved Biologisk Institut, Københavns Universitet

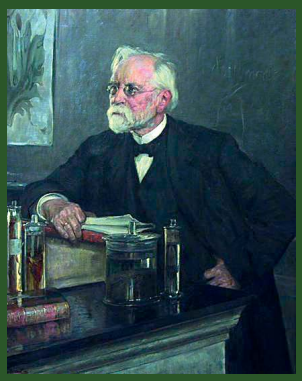
tradition

til at kunne begrunde det nye laboratoriums eksistens.« Han lagde sin traditionelle opdragelse til side og fulgte et mere økologisk og interdisciplinært program. I 1900-1906 sammenlignede han planktonets artssammensætning og udviklingen af dafniernes hjælme i sjællandske og jyske søer for at forstå opblandingens og temperaturens betydning (altså "sammenlignende økologi"). I 1908-1910 lokkede han kemikere med i bådene for at gennemføre de første skandinaviske studier af ilt- og kulstofforhold ("fysiologisk økologi"). De påviste bl.a., at der dengang var ilt i bundvandet i Furesø om sommeren, og vandplanterne ved fotosyntesen udfældede store mængder kalk. I 1917 udkom bogen om Furesøens dybdeforhold, dyreliv og planternes præcise fordeling som resultat af fem personers indsats.

Først 50 år senere blev et tilsvarende økosystemstudium gennemført herhjemme på land, nemlig i bøgeskoven Hestehaven ved Rønde i forbindelse med det Internationale Biologiske Program.

Iltmålinger og økologi

Teknologisk blev ferskvandsstudierne hjulpet på vej af en kemisk metode til at måle ilt i vand med høj præcision. Ilten er så vigtig, fordi flercellede dyr kræver ilt for at overleve. Sammenhængene mellem iltindhold og organismernes fordeling i søer blev første gang studeret i 1895 i Tyskland. I 1925 publicerede to amerikanske spildevandsingeniører verdens allerførste modelforudsigelse af iltindholdet i vandløb nedstrøms en punktudledning af spildevand. Forudsigelsen tager hensyn til mængde, fortynding og nedbrydning af spildevand samt tilførsel af ilt fra luften til vandløbet. Med senere forbedringer har det været regnegrundlaget i ferskvandsbiologi og spildevandsrensning til at forudsige konsekvenser af udledninger af iltforbrugende organisk stof i vandløb og opstille krav til rensningseffektivitet. Anvendt ferskvandsøkologi har således en meget lang historie.



Eugenius Warming (1841-1924) var en bredt funderet professor i botanik ved Københavns Universitet, som stod fadder til verdens første økologiske lærebog og universitetskursus i plantesamfunds økologi. Han havde stor indflydelse på sine elever, inklusive de to senere berømtheder ferskvandsbiologen Carl Wesenberg-Lund (1867-1955) og planteøkologen Christen Raunkiær (1860-1934).

Videnskab og politisk handling

Robust videnskabelig dokumentation er en forudsætning for, at politikere beslutter bekostelige indgreb. Et eksempel: Allerede Wesenberg-Lund skrev i 1915, at urenset spildevand ødelagde Mølleå-systemet. I 1940'erne skrev Politiken og Berlingske Tidende, at badevandskvaliteten i Furesø var under kraftig forværring. I 1950-52 dokumenterede en større undersøgelse de dårligere ilt- og lysforhold pga. spildevandet. Men forureningen fik uantastet lov til at vokse i 25 år mere.

Først med de sikre forudsigelser og modeller for fosfors påvirkning af søers tilstand i begyndelsen af 1970'erne besluttede politikerne at investere i rensning af spildevandet til Furesø. Fra slutningen af 1970'erne og frem til i dag har stadig bedre rensning efterhånden bragt fosfortilførslen ned på 1900-niveau. I bagklogskabens lys kunne vi i 2008 rekonstruere hele denne udviklingshistorie, som på det allerseneste har bragt lyset, vandplanterne og badningen tilbage til Furesø.

Moralen er, at videnskabelig indsigt og politiske initiativer ofte udvikler sig meget, meget langsomt. Kun med robust dokumentation og klare løsningsmuligheder samt pres fra borgerne reagerer politikerne.

Dam på Asnæs med vandklaseskærm.
Foto: Hans Henrik Bruun

Robert Lindeman benyttede også iltteknikken i 1942 ved verdens første kvantitative analyse af fødekædens leddelte opbygning og effektiviteten ved energiens omsætning mellem leddene. Dyrenes artsantal og hyppighed begrænses i stigende grad op gennem fødekæden, fordi en begrænset del af energien (ofte 2-20 %) overføres fra et led til det næste.

Økosystemtanken afspejledes tydeligst i de nævnte sømodeller til forvaltning af tilladelige udledninger af næringsstoffer fra byer, industri og dyrket land. Søers økologiske tilstand er i meget høj grad bestemt af næringstilførslen udefra, fordi planktonalgernes samlede biomasse, som er let at måle som klorofylindholdet i vandprøver, stiger forudsigeligt med fosforindholdet. I et samarbejde mellem biologer, fysikere, kemikere og ingeniører udviklede og testede man fra sidst i 1960'erne sådanne tilførseleffekt modeller både i udlandet og herhjemme på Ferskvandsbiologisk Laboratorium (KU), Farmaceutisk Højskole og DTU.

Modeller og planlægning

Da de simple modeller kom, betød det tætte danske samarbejde mellem økologer, ingeniører og teknikere i stat og amter, at modellerne hurtigt vandt indpas i 1970'erne som et planlægningsværktøj for at vurdere og forbedre søernes miljøkvalitet. For enhver sø vedtog amtsrådene et kvalitetsmål under hensyntagen til søernes naturgivne forudsætninger. Teknikerne regnede sig derefter frem til, hvor meget forureningen skulle reduceres for at opnå den målsatte kvalitet – fx en gennemsigtighed på over 3 m gennem vandet, som sikrer høj naturkvalitet og godt badevand (boks 1).

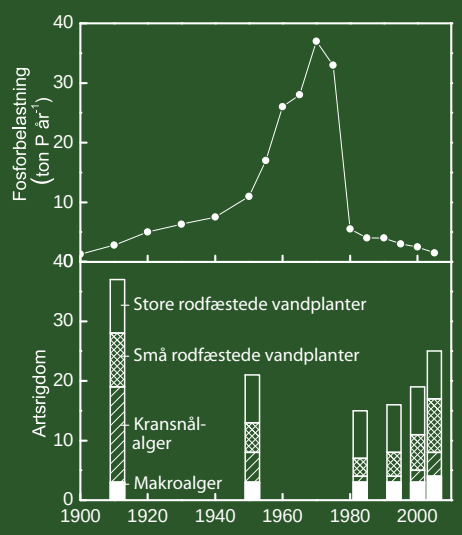
Politikere, industri, teknikere og embedsmænd bifaldt planer af netop denne type, også selvom de kostede betydelige investeringer i forbedret rensning at opfylde, fordi de var konkrete og operationelle. Man kan sige, at man regnede med ferskvandsøkologerne, fordi de viste sig at kunne regne og kommunikere med forvaltningens tidligere enerådende herskere, ingeniørerne.

Arter og samfund i terrestriske økologi

I den terrestriske økologi gik udviklingen radikalt anderledes. Her skete udviklingen ad to spor. Det ene spor havde fokus på at opklare historien bag et givet fænomen. Det andet spor havde fokus på funktionen og maskineriet bag fænomenerne. I ferskvandsøkologien har de to spor været nært forbundne. Når det samme ikke var tilfældet i den terrestriske økologi, er der to mulige forklaringer.

Den ene forklaring er, at de terrestriske systemer er langt mere komplekse end de ferske. Verden over er der i runde tal 200.000 arter af højere planter på land og blot 2.000 under vand. I Danmark vokser ofte omkring 100 arter af højere planter i det enkelte naturområde på land mod blot 5-10 arter i en sø. Det kræver derfor naturhistorisk ekspertise og en stor indsats at identificere alle arterne og deres hyppighed på land. Traditionen bød (og byder), at man ikke stillede sig tilfreds med de 10-20 hyppigste arter. Det kunne ellers give tid til overs til også at foretage målinger af mikroklimaet, jordbundskemien og hydrologien. Men heller ikke dette er så enkelt på landjorden. Målinger af lys, vand og næring på en for planterne relevant måde er mere kompliceret på land end i vand. Årsagssammenhængene mellem næringsstofstatus og naturkvalitet er også mere komplekse på land end i søer.

I den fysiologiske økologi er der udviklet stor ekspertise i at måle jordbundsforhold og forstå samspillet mellem jordbund og planter, men blot for nogle få modelplanter – sædvanligvis afgrøder. Både den artsfokuserede økologi og den fysiologisk orienterede økologi er discipliner, der stiller store krav til håndværksmæssig kunnen. Men de tekniske udfordringer gav tunnelsyn, således at man forsømte at se, hvad "de andre" lavede, og forsømte at udvikle fælles forklaringsmodeller. Man kunne



Fosfortilførsel og vandplanter

Historisk udvikling i fosfortilførslen og artstallet af vandplanter i Furesø fra 1900 til i dag. I 1920-50'erne fik den stigende befolkning i søens opland, kloakering og udstrakt anvendelse af fosforholdigt vaskepulver fosfortilledningen til at stige voldsomt. Efter 1970 har afskæring af dele af spildevandet og effektiv rensning af resten fået fosfortilledning til at falde voldsomt. Artstallet i søjlerne er fra neden af med forskellige symboler opdelt i makroalger, kransnålalger, små rodfæstede vandplanter og store rodfæstede vandplanter.

Omtegnet efter Sand-Jensen m. fl. (2008).

måske have knyttet kemikere og hydrologer til sig, men de blev ikke tiltrukket af et emne, hvor kompleksitet og uforudsigelighed tilsyneladende herskede, og de skulle forholde sig til alle disse arter, som ikke sagde dem en radisse.

Artslister eller modeller

Da sømodellerne tidligt i 1970'erne brød endeligt igennem, benyttede terrestriske botanikere stort set de samme metoder som 50 år tidligere til at vurdere tilstanden af naturområderne på land. Man stillede sig tilfreds med artslister, havde ikke indført integrerende mål for de biologiske samfunds kvalitet og ikke etableret målinger af eller sammenhænge til mængderne af forurenende stoffer tilført med luften eller grundvandet. Forvaltningen kan (kunne) imidlertid ikke bruge en enkeltstående artsliste som grundlag til at planlægge indgreb mod skadelige påvirkninger.

Her i 2013 har de terrestriske økologer udviklet mål for plantesamfunds samlede kvalitet og metoder til at måle forureningspåvirkningen. Metoderne er dog ikke fuldt operationelle. Man opererer eksempelvis med meget vide grænser for kritisk forurening. Der er ikke – som for de ferske vande – etableret simple værktøjer til at måle og kvantitativt modellere sammenhængene mellem forureningskilder, forureningspåvirkning og biologisk tilstand.

Der er altså en god grund og en ikke så god grund til de fundamentale forskelle mellem terrestrisk økologi og ferskvandsøkologi.

Den gode grund er naturgiven og består i den større kompleksitet i terrestriske økosystemer. Den kan ikke elimineres, men den kan imødegås ved forbedrede metoder. Den knap så gode grund bor inde i vores hoveder. Det er forskningstraditionen, konservatismen og det overdrevne fokus på detaljer (fx talmæssigt underordnede arter), som har holdt udviklingen tilbage i den terrestriske økologi.

Forskningstradition – styrke eller hæmsko?

Forskningstradition skal hele tiden udfordres pga. sin vekslende styrke eller hæmsko. Gode traditioner omfatter effektive videnskabelige teorier, standardiserede, præcise målemetoder og sikre forudsigelser om naturens tilstand og processer. Gode traditioner sikrer robuste værktøjer. Dårlige traditioner forstener forskningsfeltet eller sender det ud ad ufrugtbare tangenter.

I særlige situationer kan ellers traditionelt gode forudsigelser miste deres præcision (fx den klassiske Newtonske fysik nær lysets hastighed) og nødvendiggøre modifikationer (fx Einsteins relativitetsteori). Trods fosformodellernes uomtvistelige succes til at forudsige søernes tilstand, kan forskelle i fødekædernes opbygning, især hvad angår fisk, skabe en betydelig variation mellem søer. Arterne – eller snarere funktionelle grupper af arter – kan altså modificere de overordnede sammenhænge. I sådanne tilfælde er dyb forståelse af arternes naturhistorie uvurderlig.

Det kendetegner levende forskningsdiscipliner at man hele tiden rykker sig og prøver nye angrebsvinkler, *fordi det er det uforklarede og det endnu ikke afslørede, som er videnskabens egentlige motivation.* Skulle vi ønske noget for ferskvandsøkologien kunne det være, at den fik bedre forståelse for arternes opførsel bag økosystemernes mere velkendte overordnede opførsler, fordi arterne nu engang er naturens fascinerende aktører og drivende kræfter.

Skulle vi ønske noget for terrestrisk samfunds-økologi, kunne det være at blive bedre til at måle funktionen af de forskellige arter i økosystemet og integrere arternes reaktion for at forudsige plantesamfundets samlede opførsel; fordi det er plantesamfundet frem for arterne, der må være genstand for naturforvaltningen. Det ville automatisk føre til øget fokus på de hyppigste arter, da de sædvanligvis er vigtigst for systemets samlede funktion. ■

Videre læsning

Harremoës, P. m. fl. 2001 (eds.). Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000. European Environment Agency, Copenhagen. Findes som pdf.

Peters, R. H. 1991. A critique for ecology. Cambridge University Press.

Sand-Jensen, K. 2003. Den sidste naturhistoriker. Naturforkæmperen og videnskabsmanden Carl Wesenberg-Lund. Gads Forlag.

Poul Harremoës

Professor i teknisk hygiejne ved DTU, Poul Harremoës (1934-2003) var aktiv i udviklingen af bedre metoder i spildevandsrensning. I 1970'erne gjorde han og medarbejdere (fx ingeniørerne Karl Ivar Dahl Madsen, Niels Nyholm, Jørgen Simonsen og Jens Lønholdt) en betydelig indsats for at udvikle økologiske modeller for søer og vandløb. Som emeritus argumenterede Harremoës for forsigtighedsprincippet ved håndtering af forurening med den begrundelse, at det ville spare penge, miljøødelæggelse og sundhedsskadelige påvirkninger.

Poul Harremoës overrækker en pris ved et arrangement på Asien Institute of Techonology i 2002.

Foto: Asien Institute of Techonology.

13 år med vandrammedirektivet – har det givet os bedre vandløb?

En passioneret vandløbsmand kigger her på erfaringerne med EU's vandrammedirektiv. Han ser mange faglige svagheder og efterlyser et bedre redskab til forvaltning af vore vandløb. Og nu er nye vandplaner i høring.

Bent Lauge Madsen, arkitekten bag den "nye" 1982 vandløbslov, er mag. scient i ferskvandsbiologi, pensioneret fra Miljøministeriet VRD+1.
bent@laugemadsen.dk

Foto: K. Rasmussen

I 2012 kunne EU's Vandrammedirektiv (VRD) fejre sin 12 års fødselsdag i Danmark ved, at de afledte vandplaner blev erklæret ugyldige på grund af en for kort høringsfrist. Skal man dømme vandplanerne på, om de vil gavne vandløbene, vil der nok være mere at komme efter end blot juridiske formalia om høringsfrister. Det er nemlig svært at genfinde de visionære tanker og helhedssynet i det oprindelige VRD i vandplanerne.

I det hele taget har VRD-processen i Danmark været lukket. Der har ikke været diskussion af det faglige grundlag. Kommunerne, der er vandløbsansvarlige, har ikke haft del i vandplanerne. Forskerverdenen har taget imod de opgaver, der bød sig, og ellers været tavse. En undtagelse er DMU-forskere, som (bl.a. i Aktuel Naturvidenskab nr. 1/2005) meldte ud, at det vil kræve en indsats langt ud over den planlagte at nå målene i VRD.

Fagfolk i andre EU-lande, fx den britiske botanikprofessor og søbiolog Brian Moss, har gentagne gange kritiseret, at nutidig økologisk videnskab ikke er synlig i den politiske og administrative proces, der skal føre fra VRD til handling.

Den oprindelige vision med VRD var, at de ødelagte naturforhold skal genskabes, og at der ikke må ske yderligere forringelser. Der skal gribes ind ved ondets rod: Hele vandets kredsløb, fra grundvand og kilde og til og med udløb i havet skal inddrages. Begrebet Økologi som *»et udtryk for kvaliteten af struktur og funktion«* skal inddrages ifølge *artikel 2* i VRD.

Tidsplanen er, at der inden 2015 skal være *god økologisk kvalitet*, der kun må afvige *lidt* fra de oprindelige, naturlige forhold. Dette *lidt* er imidlertid blevet til *ikke så lidt* i Danmark.

Fravalg af de små vandløb

Under EU-topmødet i København i 2002 blev det holistiske vandløbssyn i VRD amputeret. Der er "alt for mange" små vandløb, så derfor kan de enkelte stater undlade at overvåge dem og gøre en indsats her. Man lod sig ikke distrahere af, at disse vandløb har oplandets største snitflade med landjorden, hvorfra problemerne kommer. Hvad der sker heroppe, sendes nedad, både vand, sand og næringsstoffer. Ved at sætte ind her, går man til ondets rod. Fravælges de, behandler vi symptomer langt fra kilden. VRD siger dog (stadigvæk), at opstrøms vandløb ikke må forringe nedstrøms vandløb, men om det bliver respekteret, har vi til gode at se. Stærke danske kræfter prøver at holde de små vandløb helt ude.

Et uforståeligt indeks

Økologien blev det næste offer i amputeringen af VRD. Naturens rigt varierede og komplekse sammenhænge blev erstattet med abstrakte bogholderfortegnelser med artslister over smådyr, planter, fisk og bundlevende, mikroskopiske alger. Ud fra dem sættes tal, indeks, på kvaliteten. Den slags, siger Brian Moss og andre med ham, hviler på forældet, deterministisk, tankegang fra starten af forrige århundrede. Dengang satte man med held tal på vandløbenes forurening efter hvilke smådyr, der var til stede, og hvilke der manglede. I sådanne ekstreme miljøer nærmer vi os deterministisk sammenhæng mellem påvirkning og effekt (her iltsvind). Så forudsigeligt reagerer et biologisk multi-samfund ikke på flerstrengede påvirkninger. Udfaldet er stokastisk. Tilstanden i en å er ikke en funktion af artslister, men af fysiske og biologiske processer, af indbyrdes forbindelser på langs og på tværs af åen.

At vandløb er andet og mere end summen af plante- og dyrearterne var ikke fremmed for ophavsmændene til VRD, og de søgte derfor at inddrage bl.a.

vandløbets fysiske struktur og funktion. Men de nationale eksperter havde ikke andet med hjemmefra end artsliste-bogholderiet. For Danmarks vedkommende blev det genbrug af Dansk VandløbsFauna-Indeks (DVFI), et indeks baseret på tilstedeværelsen af smådyr i vandløbet. Dette indeks er barberet i forhold til VRD-kravene, idet det kun tæller antallet af arter – ikke om der er mange eller få individer.

Et abstrakt indeks strider imod *artikel 9* i VRD: »*Medlemslandene skal opmuntre til, at alle interesserede parter inddrages aktivt i VRD processen*.« Man skal formidle processen godt, men indekset giver ikke mening for hverken folkevalgte politikere eller for lægfolk, der skal betale gildet. I Danmark har vi i 25 år i fordragelighed kunne forbedre vandløbene og beskrive det i genkendelige billeder: »Nu er der igen ørreder i åen.« En vild ørred for hver syvende meter i de små bække til Ribe å fortæller selvfølgelig ikke alt, men det er et nyttigt mål, som kan forstås af andre end fagfolk!

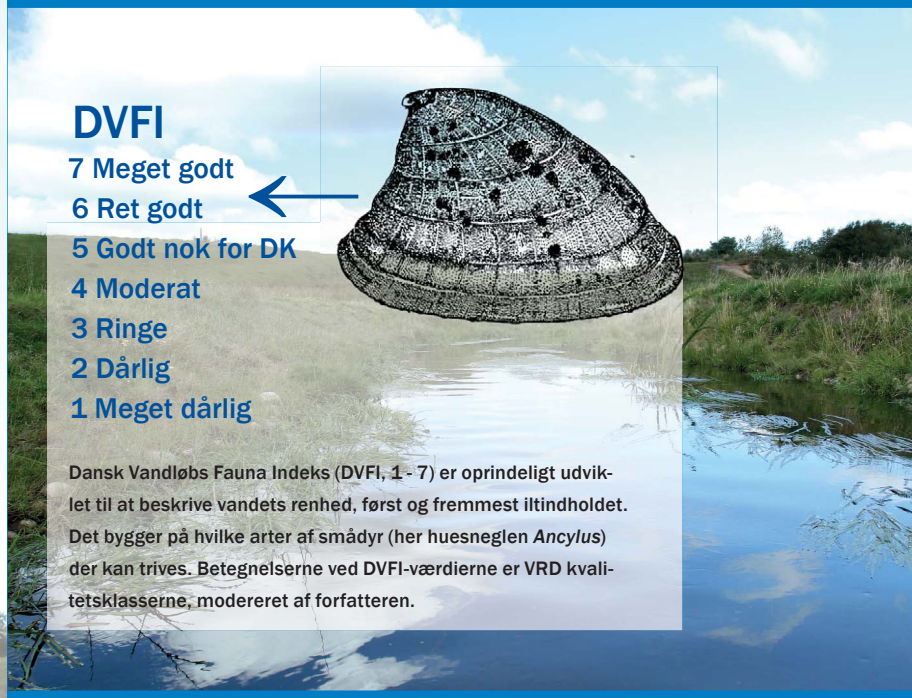
God økonomisk kvalitet

Opdaterede data er nødvendige for at vide, hvor vi skal gøre en indsats og for at se, om den virker. Fra 1970'erne havde amterne skabt et overvågningsnet for at styre indsatsen med at forbedre vandløbene. De målte forureningens afvikling ved at se på smådyrene (DVFI), og de fulgte vandløbsrestaureringens virkning ved at måle ørredbestandens udvikling. Danmarks første VRD-handling i 2003 var at flytte resurser fra at overvåge til at planlægge i vandløbene, og da amterne blev nedlagt i 2007 blev vi endnu fattigere på data.

Ikke kun valgte Danmark smådyrene som forsimplet målestok, mens ørrederne blev ignoreret. Med DVFI blev det defineret, hvordan *lidt* afvigelse fra høj kvalitet skal forstås. Hvor vi før stræbte efter, og nåede, DVFI 6 og 7, kunne vi nu nøjes med DVFI 5. Det er i dagligsprog ofte "småsnuskede" vandløb.

Men definitionen var gennemtænkt: Fx ville 80 % af vandløbene omkring Vejle slippe over den lave DVFI- 5-overligger. Målt med ørreder slap kun 44 % over. Det ville blive alt for dyrt at tage ørrederne med. Danmark havde med andre ord vendt VRD's økologiske visioner til økonomiske. Det kan vi læse i Finansministeriets (!) rapport: *Fagligt udredningsarbejde om virkemidler i forhold til implementeringen af VRD,* 2007.

Fra en vandløbsfaglig vinkel er rapporten besynderlig læsning. Som virkemiddel for at opfylde målet om DVFI på 5 foreslås »*ophør af grødeskæring*« (senere forvandlet til »*ændret grødeskæring*«). Det virkemiddel havde jo, anvendt sammen med andre, i egnede vandløb med godt fald, bragt ørrederne tilbage. Man glemte, at virkemidlet alene ikke nødvendigvis gav bedre DVFI. Snarere tværtimod, hvis van-



Dansk Vandløbs Fauna Indeks (DVFI, 1 - 7) er oprindeligt udviklet til at beskrive vandets renhed, først og fremmest iltindholdet. Det bygger på hvilke arter af smådyr (her huesneglen *Ancylus*) der kan trives. Betegnelserne ved DVFI-værdierne er VRD kvalitetsklasserne, modereret af forfatteren.

Naturligt vandløb

Dette vandløb følger sine egne naturlove. Det slynger sig, mæandrerer, i sin åseng, som den selv har skabt og selv vedligeholder. Mæanderen er en universel form, der kan genfindes i Golfstrømmen og i Leonardo da Vincis modellers krøllede hår.

Formen afspejler en verden, der forandrer sig med de mindst mulige ændringer fra punkt til punkt (sammenlign åens form med det stressede savblad i forfatterportrættet). Den vandløbsform giver en maksimal variation i levesteder, den giver en kontrolleret erosion og en afdæmpet afstrømning af store høje vandføringer.

Det mæandrerende vandløb er aldrig i ro: Mæandre vandrer på tværs og på langs ad ådalen. De afsnøres til hesteskosøer, nye mæandre dannes. Skel, og dermed ejendomsret flyttes. Det fortæller Shakespeare (Henrik IV, 3. akt), og det er juridisk gyldigt I dag.

Fotos: Bent Lauge Madsen

Yderligere læsning
Redegørelse om Vandrammedirektivet. Miljøstyrelsen 2001.

Demars B m. fl. 2012: River Microphyte Indices: Not the holy grail! Freshwater Biology 57: 1745-1759.

Moss, B. 2007: Shallow lakes, the water framework directive and life. What should it all be about? Hydrobiologia 584: 381-394.

Wiberg-Larsen P m. fl. 2012: Er miljøkvaliteten I vore vandløb forbedret? Vand & Jord 19: 62-65.

Redegørelse for konsekvenser af implementeringen af yderligere kvalitetselementer for målopfyldelsen i vandløb, årsager til manglende opfyldelse og forslag til hvilke virkemidler der kan forbedre tilstanden. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 2013. Se også Folketingets Miljøudvalg (MIU bilag 346).

Virkemidler til realisering af målene i EUs Vandramme-direktiv. Faglig rapport fra DMU nr. 625, 2007.

God miljøkvalitet i søer og vandløb: AN 1-2005

Styr oversvømmelserne med langsomme vandløb: AN 5-2011

Når marken bliver våd: AN 1-2008.

det kom til at løbe langsommere. Den manglende faglighed fremgår også af en senere analyse af mange års DVFI-data af Wiberg-Larsen m.fl. fra 2012, som skriver, at: »*Dokumentationen for betydningen af den ændrede vedligeholdelsespraksis for den økologiske kvalitet, bedømt ud fra smådyrene, er yderst sparsom*«.

Det interessante er, hvordan DVFI og grødeskæring fik den centrale placering i Finansministeriets rapport. Virkemidlet er hentet i en faglig rapport fra DMU fra 2007, hvori ophør af grødeskæring foreslås som virkemiddel til at fjerne nitrat, hvilket er ganske fornuftigt. Men i Finansministeriets udlægning sker der et økologisk og evolutionært mirakel: Nitrat, der normalt forvandles til luft (N_2) i den våde jord, bliver nu forvandlet til slørvinger og andre DVFI-insekter, som skal få det bedre med ophørt grødeskæring.

Heldigvis er dette faglige vildskud ikke sat i gang endnu. Det bliver kun sat i gang, hvis kommunerne fagligt vurderer, om det giver mening. Miljøminister Ida Auken sagde den 18. marts 2013: »*Kommunerne skal tage gummistøvlerne på, når de konkret skal udmønte vandplanerne.*« Nu blev kommunerne endelig, som vandløbsansvarlige, aktive medspillere.

En fremtid for vandløbene

I *Vandplan 2 (2016-21)* skal alle 4 VRD-målestokke (smådyr, fisk, planter og bundlevende, mikroskopiske alger) i spil i Danmark, uanset den faglige kritik. Fx har engelske og franske fagfolk (Demars et al.) undersøgt 9 forskellige planteindeks og konkluderet, at de ikke giver økologisk mening og kun i ringe grad kan identificere menneskeskabte påvirkninger.

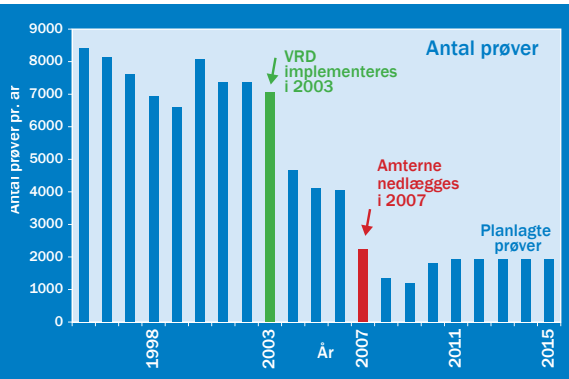
En analyse fra 2013 af 155 vandløbsstationer, som Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE) har lavet til Folketinget, viser, at målet om DVFI på mindst 5 er nået ved 60 % af stationerne. Jo flere indeks, der måles på, des færre stationer når målet. Ikke mange vandløb vil opfylde EU-kravene, målt med VRD-indeksene. Så skal VRD-indsatsen vel øges? Næppe! Hvis det dystre resultat holder, kan Danmark udnytte den elastik, der undtager endnu flere vandløb fra VRD-indsats.

Men det betyder ikke, at vi behøver at afstå fra fortsat at forbedre vandløbene. For det første har vi frihed til at forbedre andre vandløb end dem, der er udpeget til VRD-indsats. I *Vandplan 1* drejer dette sig om ca. 5.000 km ud af vore ca. 70.000 km. For det andet kan indsatsen blive mere realistisk. Et nyt lovforslag er på trapperne, som giver kommunerne frihed til at vælge egnede virkemidler i samarbejde med lokale *brugervandråd*.

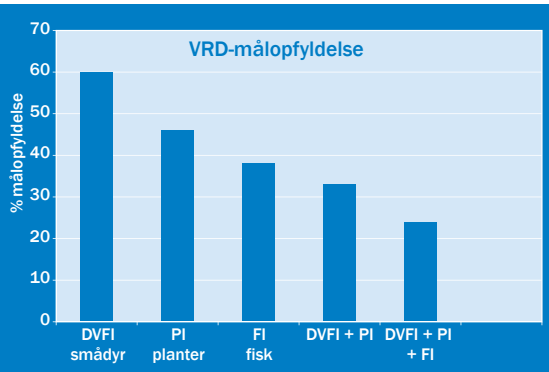
Om de nye vandplaner kan give positive udslag på VRD-indekset er usikkert. Det ubesvarede spørgsmål er stadig, om indeks har økologisk mening. Men vi har viden og erfaring til fortsat at bruge virkemidler, der fremmer den gode vandløbskvalitet. Vi skal arbejde på, at de fluviale kræfter (*fluvius*: latin for flod) får lov at udfolde sig efter deres egne naturlove. Vandløbene skal igen have lov til at oversvømme deres nærmeste omgivelser. Den naturlige erosions forstyrrelser skal genskabe og vedligeholde vandløbets mosaik af levesteder. Så sent som i november sidste år kritiserede EU Danmark for ikke at have inddraget det i vandplanerne.

Den gode vandløbskvalitet kan kun nås, hvor intensivt landbrug holder afstand til vandløbet. At ekstensivere landbruget i ådalene er ikke en ny tanke. Det var det store emne i firsernes marginaljordsarbejde. Det blev i DMU-forarbejderne til VRD udnævnt som det sikreste og det mest økonomiske virkemiddel, der rækker langt videre end til vandløbet.

Vi mangler ikke viden for at komme videre. Udfordringen er at få lov. Der er andre interesser end økologiske i vandløb, på ulyksalig vis, men i skøn samdrægtighed, formuleret i *Wilhjelmrapporten 2001* s.51: »*Vi skal fremme fri (vandløbs-)slyngning... under forudsætning af, at det ikke skader landbrugets afvanding.*« Natur- og landbrugskommissionen noterede 2013, at »*den dårlige udvikling i vandløbene er vendt, og den udvikling skal fortsættes.*« Vi har forbedret rigtig mange vandløb, også helt små, uden hjælp fra VRD. Vi har til gode at se, om den danske udgave af VRD hjælper vandløbene videre ad den vej. Og ikke kun til *god økologisk kvalitet,* men til gode vandløb. ■



VRD-æraens afvikling af vandløbenes overvågning vha. smådyrene (DVFI) 1995 til 2015. Fra 2007 udfører Naturstyrelsen en reduceret overvågning, mest af større vandløb. Kilde: Winbio



Analyse af VRD-målopfyldelse ved 3 forskellige VRD-indeks hver for sig og kombineret. På hver station skal alle indeks opfylde VRD-kravene. Kilde: DCE 2013

BOGANMELDELSE

Bohr på ny - en jubilæumsantologi

Anmeldt af Klaus Seiersen, hospitalsfysiker, ph.d., klaus@seiersen.org

I 1913 introducerede den danske fysiker Niels Bohr sin berømte model for atomets struktur – en model, som bidrog markant til udviklingen af den revolutionerende kvantemekanik. Bohrs atommodel fylder således 100 år i år, hvilket da også er blevet fejret med flere store arrangementer landet over.

I samarbejde med Niels Bohr Arkivet har ForlagetEpsilon.dk udgivet en antologi med 14 nye artikler om den berømte danske nobelprisvinder. Artiklerne er opdelt i fire kapitler omhandlende hhv. familiemennesket, politikeren, fysikeren og filosoffen Niels Bohr.

I første kapitel møder vi et personligt og rørende portræt skrevet af børnebørnene Vilhelm og Tomas Bohr, der fortæller om, hvordan det var at besøge deres farfar i sommerhuset eller i den spændende æresbolig på Carlsberg. Her er det ikke fysik, filosofi og politik, der er i fokus, men fodbold, eventyrfortællinger og farmors mørbradbøffer.

Antologier er af natur ofte af meget svingende kvalitet, hvilket næste afsnit er et eksempel på. Det er skrevet af vennen Haldor Topsøe, der døde næsten 100 år gammel, ganske kort før bogen udkom. Afsnittet bærer præg af at tage udgangspunkt i en gammel mands erindringer, og det giver en noget rodet samling af historier.

Bohr i det nære og det fjerne

Kapitlet om Bohr i politik og samfund indeholder hele fem afsnit, som bl.a. dækker etableringen af Institut for Teoretisk Fysik i København, der fungerede som et internationalt samlingssted for fysikere på tværs af politiske og nationale skel i årene efter Første Verdenskrig. Vi følger også oprettelsen af Forsøgsanlæg Risø samt Bohrs møder med Roosevelt og Churchill angående internationalt samarbejde om kerneenergi.

Et af afsnittene, skrevet af Karl Grandin, omhandler vor hovedperson set fra et svensk perspektiv. Det kan i første omgang synes sært, at vi skal have kendskab til den internationale profil Niels Bohrs forhold til nogle relativt ukendte svenske fysikere, men afsnittet kulminerer i en yderst interessant beskrivelse af Bohrs ekstraordinære status i den svenske Nobelkomite, som han næsten blev medlem af.

I kapitlet om Bohr og fysikken giver Helge Kragh et flot og grundigt indblik i den atommodel, vi fejrer i år. Herefter skifter bogen fokus til to moderne forskningsområder, der begge kan trække tråde tilbage til Bohrs arbejde i starten af sidste århundrede. Disse to afsnit omhandler henholdsvis grundstoffets hafniums rolle i forståelse af Solsystemets dannelse og arbejdet med at skabe en kvantecomputer, og de virker begge (især det første) så fjernt fra Niels Bohr selv, at de måske ikke helt passer ind i antologiens tema. De to forfattere, Anja C. Andersen og Klaus Mølmer, er dog så fremragende formidlere, at indholdet er yderst interessant at læse.

Udfordrende filosofi

Det fjerde kapitel omhandler Bohr og filosofien, og det har for mig personligt været de sværest tilgængelige tekster, som et par gange sendte mig til ordbogen for at forstå de filosofiske fagtermer. Specielt det sidste afsnit af Henrik Zinkernagel fangede mig dog virkelig, for det omhandler den interessante grænse mellem den kvantemekaniske og den klassiske verden. Hvor sker overgangen, når en måling på et rent kvantemekanisk system resulterer i en klassisk udlæsning på apparaturets viser? Det er et både spændende og svært spørgsmål, som afsnittet klart opridser problemstillingerne i. Jeg savner dog i den forbindelse en relation til den moderne eksperimentelle forskning inden for feltet kvanteoptik, hvor man netop forsøger at udforske det såkaldte måleproblems grundlæggende natur.

Bogen kan fint ligge på natbordet, hvis det ikke var for det store og klodsede format, der minder læseren om, at bogen nok mere er tænkt som lærebog til fx de gymnasiale uddannelser. Jeg vil dog alligevel anbefale bogen til alle med interesse for fysikkens historie eller personen Niels Bohr, der vel nok er en af vore mest berømte landsmænd gennem tiden. ■

Lone Bruun, Finn Aaserud og Helge Kragh (red): Bohr på ny. ForlagetEpsilon.dk, 2013. 224 sider, 270,- kr.

UDGIVELSER

De ferske vande

Med *De ferske vande* er femte og sidste bind i værket *Naturen i Danmark* nu udkommet. *De ferske vande* beskriver bl.a. de ferske vandes opståen og udnyttelse, dyr og planters levevilkår, menneskets indflydelse på de ferske vandes fysiske forhold og biologiske tilstand, samspillene mellem organismerne indbyrdes og mellem dem og mennesket samt fremtidsperspektiverne for ferske vande i Danmark. De ferske vande er redigeret af professor Kaj Sand-Jensen, og en række fagfolk har skrevet de enkelte kaptitler.

Kaj Sand-Jensen (red): Naturen i Danmark – De ferske vande. Gyldendal 2013. 504 sider, 699,95 kr.

Aktuel NATURVIDENSKAB

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

Styregruppe
- **Bo T. Andersen,** afdelingsleder, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **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
- **Thomas Johansen,** Københavns Universitet
- **Carsten Rabæk Kjaer,** Aktuel Naturvidenskab
- **Carsten Nielsen,** Aalborg Universitet
- **Hans Ramløv,** Roskilde Universitet
- **Line Reeh,** DTU AQUA, Danmarks Tekniske Universitet
- **Birgitte Svennevig,** Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet

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

Ansvarshavende
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 2013
294 kr. i DK for 6 numre, inkl. moms og porto.

Abonnementsservice
Portoservice, Postboks 9490, 9490 Pandrup
Telefonnr.: 70 25 55 12
e-post: aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk
Eller via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Layout og illustration: Jørgen Dahlgaard og Britta Munter
Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S
ISSN: 1399-2309 (papirudgaven), 1602-3544 (web)
Oplag: 8.900

Omslagsfoto:
Opbygning af den nye partikelaccelerator ASTRID2 ved Aarhus Universitet. Foto: Lars Kruse, AU-foto.

Fagpanel

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

- **Flemming Besenbacher,** professor, Interdisciplinært Nanoscience Center (iNANO), Aarhus Universitet
- **Claus Hviid Christensen,** senior manager, Innovationscenter, Dong Energy
- **Jesper Dahlgaard, ph.d.,** Aarhus Universitetshospital og Psykologisk Institut, Aarhus Universitet.
- **Ture Damhus,** Kemiker ved Novozymes samt formand for Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg
- **Søren B. F. Dorch,** astrofysiker ph.d., Københavns Universitetsbibliotek, adjungeret lektor ved Niels Bohr Instituttet, Københavns Universitet
- **Michael Drewsen,** professor, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet
- **Claus Emmeche,** lektor, Niels Bohr Instituttet, Københavns Universitet.
- **Tom Fenchel,** professor emeritus, Marinbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet
- **Jens Morten Hansen,** statsgeolog ved GEUS samt adjungeret professor i naturfilosofi ved Københavns Universitet
- **Vagn Lundsgaard Hansen,** professor, Inst. for matematik, Danmarks Tekniske Universitet
- **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
- **Anne Mette K. Jørgensen,** leder af Danmarks Klimacenter, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Peter C. Kjærgaard,** professor, Institut for Kultur og Samfund, Aarhus Universitet
- **Gunnar Larsen,** geolog, NIRAS.
- **Bent Lauge Madsen,** biolog (pensioneret fra Miljøministeriet).
- **Sebastian H. Mernild,** Klima- og Polarforsker, Los Alamos National Laboratory, New Mexico, USA
- **Ole G. Mouritsen,** professor, Institut for Fysik, Syddansk Universitet.
- **Bent Nielsen,** gymnasielektor, Københavns VUC.
- **Jens Olaf Pepke Pedersen,** seniorforsker, DTU Space.
- **Kaj Sand-Jensen,** professor, Sektion for Ferskvandsbiologi, Biologisk Institut, Københavns Universitet.
- **Theresa S. S. Schilhab,** forsker, Forskningscentret Gnosis, Aarhus Universitet
- **Klaus Seiersen,** ph.d., Aarhus Sygehus, Afd. for Medicinsk Fysik.
- **Carl-Erik Sølberg,** civilingeniør, Institut for Fysik, Aalborg Universitet.

GRUNDFOS
DUPONT
novo nordisk
novozymes Rethink Tomorrow

Tilbud til gymnasieskolen

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

Abonnementsservice

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

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

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

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

Adgang til pdf-udgave

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

Brugernavn: aktuel-nr5
Kodeord: jul28kgf

Du logger på via hjemmesiden: *aktuelnaturvidenskab.dk* hvor du vælger punktet *"Nyeste numre" (5-2013).* Herefter kan du logge på i højre side.

Kort Nyt

Foto: Neil Palmer/CIAT

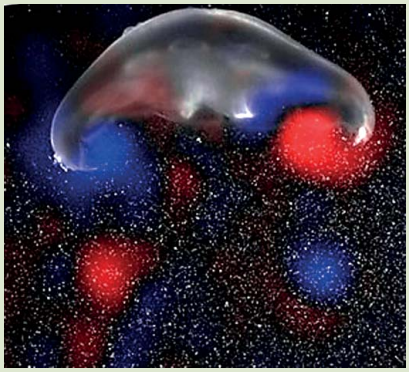
Få træer dominerer i Amzonas

Regnskoven i Amazonas dækker et område på mere end 6 millioner kvadratkilometer og er kendt for sin store biodiversitet. Men faktisk viser det sig, at relativt få arter af træer i den grad dominerer i den kæmpemæssige skov. Hans ter Steege fra Naturalis Biodiversity Center i Leiden, Holland, og kolleger har analyseret data fra 1.170 undersøgelser, som dækker alle typer af skovområder i Amazonas, og ekstrapoleret resultaterne til hele regnskoven. De har beregnet, at skoven i alt indeholder ca. 390 milliarder træer med en stammetykkelse på mere end 10 cm fordelt på ca. 16.000 arter. Omkring halvdelen af alle træer i området udgøres imidlertid af kun 227 arter. Ifølge forskerne kan den ekstreme dominans af disse få arter gøre det simplere at forstå storskala-økologien i området. Til gengæld kan det komplicere bestræbelserne på at identificere sjældne arter, som er i fare for at uddø.

CRK, Kilde: Science, Vol. 342 no. 6156.

Bygget til effektivitet

Gopler svømmer ikke just hurtigt, men de er i besiddelse af en af dyrerigets mest effektive fremdriftsmekanismer, viser ny forskning. Det betyder, at gopler bruger langt mindre energi på at komme fra punkt A til B end fisk gør, hvilket kan være med til at forklare, hvorfor gopler som rovdyr har stor succes og mange steder har det "økologiske overtag". For hvert gram føde goplerne indtager, kan de således investere mere af energien i vækst og reproduktion i forhold til deres konkurrenter.



Nøglen til goplernes effektivitet er ifølge en ny afhandling i tidsskriftet PNAS af Brad Gemmell fra Marine Biological Laboratory, Woods Hole, USA, og kolleger, en hidtil overset del af goplernes bevægelsesmønster. Gopler udfører en pulserende bevægelse, hvor kroppen trækker sig sammen og afslappes. Ved sammentrækningen skyder kroppen frem i vandet, og hvirvler i vandet skydes bagud. Hidtil har man troet af afslapningsfasen blot tjente som en hvileperiode for den næste sammentrækning. Men forskerne har opdaget, at en af de dannede hvirvler i vandet i denne fase ruller op under goplen og giver den et ekstra skub fremad. Denne sekundære hvirvel bidrager med op til 30 % af den samlede distance, som goplen tilbagelægger under hver sammentrækning.

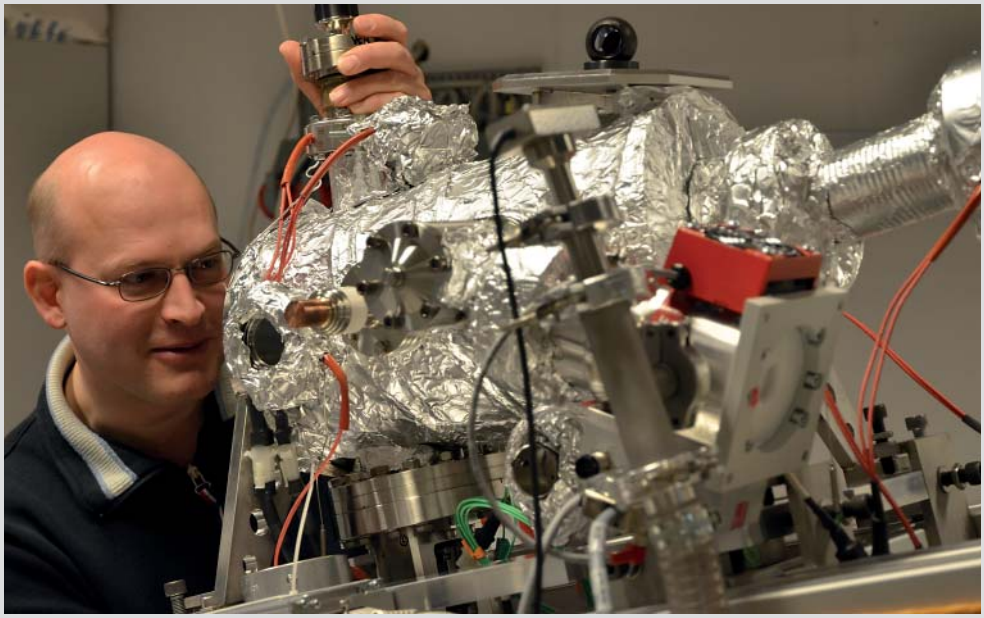
Billedet viser data fra højhastighedsoptagelser af en svømmende gople af arten Aurelia aurita. De farvede områder indikerer strukturen af de dannede hvirvler, der er med til at skubbe goplen fremad.

Foto: Brad Gemmell

CRK, Kilde: PNAS, doi: 10.1073/pnas.1306983110

AL HENVENDELSE TIL: Aktuel Naturvidenskab, Ny Munkegade 120, Bygn. 1520, 8000 Århus C
Tlf.: 70 25 55 12 / 87 15 20 94, E-post: aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Lavpraktisk højteknologi



Søren Vrønning Hoffmann i færd med at justere et af ASTRID2's mange instrumenter. Bemærk indpakningen!
Foto: Carsten R. Kjaer.

Af Carsten R. Kjaer

Besøger man et veludstyret fysiklaboratorium er det let at forestille sig følgende ordveksling mellem et par forskere:
Forsker A: »Fantastisk – vi har endelig fået vores nye superaccelerator til 50 millioner kroner!«
Forsker B: »Fedt...! Hey, skal vi ikke pakke den ind i sølvpapir?«

En sådan ordveksling synes ikke helt urealistisk i kælderen under Institut for Fysik og Astronomi ved Aarhus Universitet. Her er man ved at færdiggøre den nye accelerator ASTRID2, og i den forbindelse står en række instrumenter linet op, pakket ind i sølvpapir – eller alufolie, som er det mere retvisende navn på indpakningen. Der er selvfølgelig en ganske lavpraktisk forklaring på, at disse højteknologiske instrumenter ligner forvoksede julegaver. Fysiker Søren Vrønning Hoffmann forklarer, at alufolien er god til at fordele varme. Derfor bruger fysikerne det i stor stil som isolering omkring deres instrumenter, så varmen kan holdes inde og fordeles jævnt over instrumentet.

Tonstung finmekanik

Søren Vrønning Hoffmann er en del af det team, der bygger ASTRID2. Teknisk set er ASTRID2 en såkaldt *synkrotron*, hvor elektroner accelereres op til en hastighed nær lysets, og ved hjælp af magneter holdes fanget i et cirkulært rør. Her drøner de rundt i en 45,7 m lang bane sådan ca. 6,5 millioner gange i sekundet. Under farten udsender elektronerne en særlig stråling, når de afbøjes i et magnetfelt. Og det er denne *synkrotronstråling*, der er årsagen til alle anstrengelserne. Synkrotronstrålingen har nemlig en række fremragende egenskaber, som forskerne kan bruge til mange forskellige spændende eksperimenter.

De tekniske udfordringer i at bygge en accelerator som ASTRID2 er til føle på. Det drejer sig i store træk om at designe tonstunge instrumenter, der skal kunne justeres med tårnhøj præcision og fungere under vakuum og høje temperaturer. Acceleratorer køber man derfor ikke som et møbel fra IKEA, man blot skal samle hjemme i kælderen. De eneste elementer, man kan få som standardvarer, er sådan noget som vakuumpumper, bolte og møtrikker, fortæller Søren Vrønning Hoffmann. Resten af herligheden skal i princippet designes fra bunden, da elementerne skal tilpasses præcist til formålet. Så her kommer fantasien og den tekniske snilde for alvor på arbejde – noget som forskerne heldigvis har adgang til i form af en stab af dygtige konstruktører og teknikere på instituttet.

Lille spejl i maskinen der

Som eksempel på designudfordringerne fortæller Søren, at der i ASTRID2 indgår omkring 25 spejle, som bruges til at dirigere synkrotronstrålingen hen til de videnskabelige eksperimenter. Det skal foregå med så stor præcision, at hvert enkelt spejl skal kunne justeres med en nøjagtighed på op til en ti tusindedel af en grad i tre retninger. Justeringen foregår bl.a. ved hjælp af en "vakuumskruetrækker", som forskerne kan betjene fra ydersiden, og som drejer på stilleskruer inde i selve instrumentet. Ved hjælp af et gearsystem overføres det lille drej på skruen så til, at spejlet vippes en lillebitte smule i den ønskede retning. Princippet er sådan set simpelt nok, men når alting i den kæmpestore maskine på denne måde skal designes, produceres og samles fra grunden, bliver det en tidkrævende affære at bygge acceleratorer.
Og så tager det jo også sin tid at pakke instrumenterne i ASTRID2 ind i rundt regnet en kilometer alufolie... ■