

# Aktuel NATURVIDENSKAB

2 | MAJ | 2015

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00



## Et hav fuld af (mikro)plastik

På opdagelse i materialernes indre

Algoritmer regner på krypterede data

Bliver man stærkere af D-vitamin?

# Skoven på den politiske dagsorden



Foto: Jens Chr. Schou

Af Hans Henrik Bruun, lektor ved Biologisk Institut, Københavns Universitet  
hhbruun@bio.ku.dk

**Den borgerlige opposition har højst overraskende foreslået at udlægge 20 % af statens skove til nye initiativer til gavn for den biologiske mangfoldighed. Men forslaget vil samtidig slække på beskyttelsen af naturen i det åbne land. Er det nu nødvendigt?**

Aldrig har naturpolitik stået så højt på den politiske dagsorden. Aldrig før har Folketingets partiet på tværs af det politiske spektrum i en sådan grad kappedes om at fremsætte visionære beslutningsforslag med fokus på biologisk mangfoldighed. Alene inden for en enkelt uge i slutningen af marts fremsatte både den borgerlige opposition (VKOI) og Enhedslisten hver deres forslag.

Det visionære element i de borgerliges forslag er at udtage 20 % af statens skovareal af den nuværende skovdrift med træproduktion for øje og reservere det til natur og biodiversitet. Staten ejer en tredjedel af skovarealet, så forslaget vil omfatte ca. 25.000 ha eller godt en halv procent af det samlede landareal. I et land som Danmark, som klimatisk og geografisk i høj grad er et skovland (eller ville have været det uden mennesker), lyder det måske ikke af meget. Begejstringen ville nok hurtigt være sluttet, hvis skovlande som Canada eller Brasilien fremlagde planer i samme beskedne størrelsesorden. Men denne del af forslaget er faktisk visionært, fordi det er første gang, at der direkte foreslås at reservere en betydelig del af skovarealet til naturformål.

I løbet af de seneste 25 år er der udlagt ca. 2.500 ha skov til urørt skov – altså en tiendedel af forslagens tal. Regeringens Naturplan Danmark taler om at øge dette areal med – hold nu fast – 250 ha. Lidt enkel hovedregning vil hurtigt give et indtryk af, hvor lille en andel af landets samlede areal eller af skovarealet, der er tale om. Det borgerlige forslag overbyder altså regeringens plan med 100 gange. Der er dog også en hage ved forslaget fra “blå blok”, som jeg skal komme tilbage til.

## Politikere har lyttet

Enhedslistens forslag har en lidt anden vinkel på sagen. Deres forslag går ud på at gøre den kommende Nationalpark Kongernes Nordsjælland til en 8.000 ha stor natur-nationalpark med mere fokus på biodiversitet end på lokal erhvervsudvikling. Med begge forslag føler jeg for en sjælden gangs skyld, at politikerne har lyttet til budskabet fra forskerkolleger og mig selv, nemlig

at naturbeskyttelsen i skoven halter langt bagefter, at nye initiativer til fremme af biologisk mangfoldighed mest omkostningseffektivt kan henlægges til skoven, samt at nye initiativer er påkrævede, hvis det politisk fastsatte mål om at standse tabet af biodiversitet inden år 2020 skal have nogen chance for at blive indfriet. Den målsætning blev fastsat på Biodiversitetstopmødet i Nagoya i 2010. Her opstilledes også de 20 såkaldte Aichi-mål, hvoraf ét lyder, at Danmark og de andre lande skal bestræbe sig på at udpege mindst 17 % af deres landareal og 10 % af deres havareal til natur, specielt arealer af betydning for den biologiske mangfoldighed. Status i dag er, at omkring 12-13 % af Danmarks landareal har en eller anden form for naturbeskyttelse.

## Gustent overlæg

Det bringer mig til den anden del af de borgerlige partiers forslag. De vil nemlig knytte den øgede beskyttelse af skovens natur sammen med en tilsvarende indskrænkning af arealet af beskyttet natur i det åbne land. Denne del af beslutningsforslaget forekommer mig at være smålig og søgt. Smålig, fordi der – i forhold til målet om at beskytte 17 % af landarealet – er brug for at forstærke naturbeskyttelsen i skoven, ikke at slække på den andre steder. Søgt, fordi der ikke er nogen logisk kobling mellem de to dele. Det er ikke sådan, man normalt foretager en økonomisk prioritering. Man fornemmer dermed et gustent overlæg om at fritage det private landbrugserhverv for produktionsindskrænkende naturbeskyttelse. Men jeg er ekspert i biodiversitet, ikke i fordelingspolitik. Og i den optik er forslaget bedre end SR-regeringens politik.

Man kunne godt opgive beskyttelsen af de 20 % mindst værdifulde enge uden at miste levesteder for truede arter. Hvis man samtidig beskyttede de 20 % bedste skove, ville nettoværdien for biodiversiteten faktisk være positiv. Hvis regeringspartierne, der i egen selvforståelse har en “grøn” profil, blot stemmer imod forslaget, og ikke fremsætter et mere visionært forslag, vil det være en visionsløs automatreaktion. ■



## Tema (fortsat)

### Tre tigerspring for materialeforskningen

I seneste nummer tog vi hul på et tema om dansk materialeforskning med udgangspunkt i de muligheder, der vil byde sig i fremtiden med de store nye røntgen- og neutronfaciliteter: Europaen Spallation Source og MAX IV i Lund og den europæiske frirøntgenlaser E-XFEL ved Hamborg. I dette nummer afslutter vi temaet med fire artikler, der spænder lige fra forskning i virkemåden af medicin over selvorganiserende strukturer i cellemembraner til undersøgelser af det indre af fx metaller og energibarrierer i molekulære magnetiske materialer.

## Indhold

### FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
Et hav fuld af mikroplastik.....	8
Bliver man stærkere af D-vitamin? .....	14
TEMA: Tre tigerspring for materialeforskningen:	
På opdagelse i materialernes indre .....	20
En spids vinkel på sygdomme og medicin .....	24
Form og funktion på nanoskala .....	30
Molekulære magnetiske materialer - studeret med neutroner .....	35
Algoritmer regner på krypterede data .....	40

### PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: Skoven på den politiske dagsorden? .....	2
Når forandringens vinde blæser .....	43
Vejen til drømmestudiet .....	46
Bagsiden: Frygtløse forskningsassistenter .....	52



## 8

### Et hav fuld af mikroplastik

Hvad sker der egentlig med de enorme mængder af plastik, som ender i havet?

Et bud er, at det nedbrydes til mikroplastik, som måske kan påvirke havets mindste liv og dermed grundlaget for alt liv i havet.



## Hvornår er en drone “harmløs”?

Små, fjernstyrede helikoptere er blevet billig hvermandseje, men nybagte dronepiloter må strengt taget kun flyve med dem på behørig afstand af veje, forsamlinger og bebyggede områder. Trafikstyrelsen er dog på vej med lempeligere regler, og har bedt lektor Anders la Cour-Harbo fra Aalborg Universitets Institut for Elektroniske Systemer om at analysere sikkerhedsrisikoen. Droneforskeren har derfor set på, hvor store dronerne skal være, før de begynder at udgøre en sikkerhedstrussel, hvis de falder ned og rammer nogen. Og han er nået frem til en grænse på 250 gram.

I stedet for vægtgrænsen kunne man også have defineret grænsen ud fra, hvor hurtigt dronerne må flyve, hvor meget kinetisk energi, de har, eller hvor meget, de trykker kropsvævet sammen, hvis de rammer et menneske. Men det er svært for almindelige mennesker at måle, så derfor fokuseres der på vægten.

Sammenhængen mellem vægt og potentiel skadevirkning er dog ikke helt ligetil. En riffelkugle vejer fx ikke mere end et par gram, men gør stor skade, fordi den trænger ind i kroppen og ødelægger vævet. Omvendt kan en drone af skum veje mange hundrede gram uden at kunne gøre særlig skade, hvis den rammer nogen, fordi den typisk blot trykker vævet sammen.

Anders la Cour-Harbo har set på tre parametre: Hvor stor sandsynligheden er for, at en drone falder ned; hvor stor sandsynligheden er for, at den rammer nogen, og hvor stor skade vil den potentielt gøre på dem, den måske rammer. Inden for bemandet luftfart er der en tommelfingerregel, der siger, at der mindst skal være 100 millioner flyvetimer for hvert dødsfald. 100 millioner timer svarer til over 11.000 år; altså en forsvindende lille risiko. Og samme mål gælder for de ubemandede droner.



Foto: Colourbox

Efter at have analyseret tallene er forskeren nået frem til, at den magiske grænse for, hvornår en drone kan betegnes som harmløs, går ved 250 gram.

»Jo tungere dronerne bliver, jo mere skade gør de. Og det er ikke sådan, at en drone på 200 gram gør dobbelt så meget skade som en på 100 gram. Når vi rammer en vægt på 250 gram, har vi en sandsynlighed for at komme til skade, som kombineret med sandsynligheden for, at den falder ned – og at man bliver ramt – rent matematisk er ét dødsfald pr. 100 millioner flyvetimer«, siger Anders la Cour-Harbo.

Af journalist Jakob Brodersen, Aalborg Universitet

## Naturlig GMO

Arter af bakterien *Agrobacterium* bruges af forskere til at genmodificere planter, da bakterien er i stand til at inficere planterne og overføre dens eget DNA til værtsens genom. Da Jan Kreuze og kolleger fra det internationale kartoffelcenter i Lima, Peru, kiggede nærmere på genomet fra sød kartoffel (*Ipomoea batatas*) opdagede de, at naturen på sin vis er kommet forskerne i forkøbet mht. at genmodificere denne art.

Det viste sig nemlig, at genomet hos sød kartoffel indeholder gener, som stammer fra en eller flere arter af *Agrobacterium*. De to stykker bakterielt DNA fundet i kartoffelgenomet er udtrykt i flere forskellige af plantens væv, og findes kun i den kultiverede afgrøde – ikke i nært beslægtede vilde stammer. Ifølge forskerne kan det tyde på, at disse gener koder for træk, der har været attraktive for kultivering, og derfor er blevet selekteret for i arbejdet med at forædle planten som afgrøde.

CRK. Kilde: Proc. Natl Acad. Sci. USA <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1419685112> (2015)



Foto: via Wikimedia Commons

## Varme væsker i rummet

Kølerør er vigtige komponenter til passiv køling af fx processorer i bærbare computere. Et kølerør består af et rør fyldt med en væske. Når væsken opvarmes i den ene ende af røret, fordampes den og flyder til den kolde ende, hvor den kondenserer og strømmer tilbage igen. I rumfartøjer kan denne form for køling af elektronik virke attraktiv, da der ikke skal bruges elektricitet på at drive fx blæsere ligesom kølerør ikke indeholder mekaniske dele, der kan være tilbøjelige til at gå i stykker og dermed give alle mulige problemer. Ny forskning af Joel Plawsky fra Rensselaer Polytechnic Institute, New York og kolleger viser imidlertid, at væsken i et kølerør opfører sig anderledes i rummet end på jorden.

Forskerne studerede ved hjælp af billeder og temperaturdata transmitteret fra rumstationen et få cm langt, gennemsigtigt rør fyldt med den organiske forbindelse pentan, mens den ene ende af røret blev opvarmet til næsten 250 °C. Det er den temperatur, hvor væsken selvantænder, når den udsættes for luft. På jorden falder køleevnen ved så høje temperaturer, fordi væsken fordampes for hurtigt i kølerørets varme ende, så denne ende tørrer ud. I rummet er det derimod ikke udtørring ved de høje temperaturer, der begrænser køleevnen, men overraskende nok det stik modsatte: I stedet for at tørre ud, blev den varme ende oversvømmet med væske ved de 250 °C. Det sker, fordi der opstår en temperaturbetinget gradient i overfladespændingen, så væsken strømmer fra steder med lav overfladespænding til steder med højere overfladespænding. Dette kendes som Marangoni-effekten, men på jorden overtrumfes denne effekt af tyngdekraften. I fravær af tyngdekraft bliver Marangoni-effekten derimod dominerende.

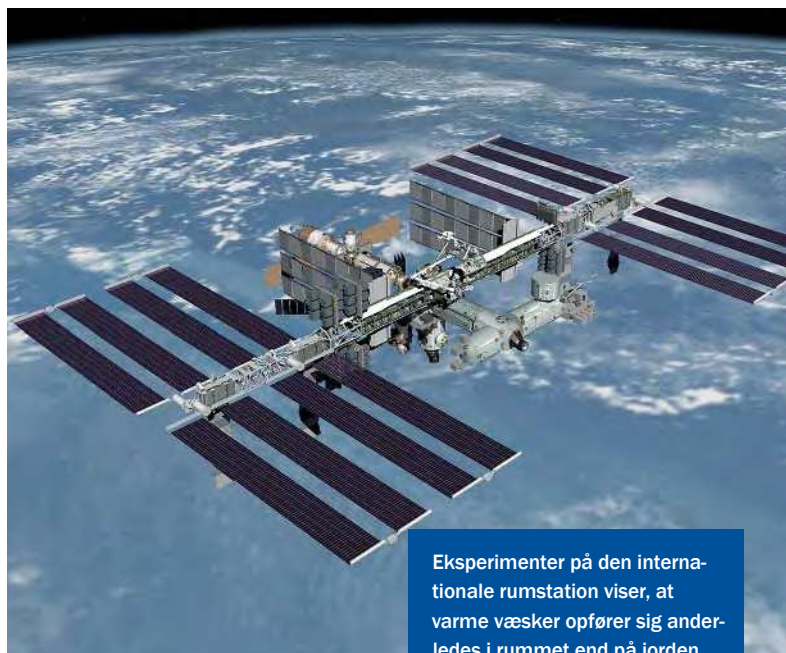


Foto: Nasa.

Ekspirer på den internationale rumstation viser, at varme væsker opfører sig anderledes i rummet end på jorden.

Forskerne skriver, at forholdene med "oversvømmelse" må bryde sammen ved endnu højere temperaturer, men flere eksperimenter på ISS er nødvendige for at afgøre, hvad der egentlig sker.

CRK, Kilde: *Phys. Rev. Lett.* 114, 146105



Foto: Colourbox

## Fra gammel brie til biogas

I dag bliver det meste af vores skrald brændt af på det lokale forbrændingsanlæg, som omdanner det til fjernvarme og/eller elektricitet. Men det er måske ikke den bedste måde at udnytte energien i affaldet, og derfor leder forskere efter alternative metoder. På Det Tekniske Fakultet på SDU fylder forskeren Loire Hamelin laboratoriet med gamle madrester såsom leverpostej, ost og tun for at under-

søge, om det kan omdannes til kvalitetsbiogas. Som led i projektet har virksomheden N.C. Miljø udviklet et anlæg, der kan kværne affaldet fra husholdninger, så plastik, glas og metalstumper bliver skilt fra madresterne. Herefter omdannes de organiske rester til en såkaldt biopulp helt uden brug af kemikalier, enzymer eller opvarmning, som det ellers har været tilfældet i andre tidligere forsøg. Det

eneste, som tilsættes, er lidt vand. Biopulpen kan herefter blive til biogas.

Lorie Hamelins opgave er at undersøge om produktionen af biogas er stabil nok, og om den er fri for skadelige stoffer som tungmetaller eller ftalater fra plastik. Viser det sig, at biogas brygget på madaffald er af tilstrækkelig god kvalitet, kan det udvikle sig til en indbringende forretning for de virksomheder, som er indblandet i projektet.

Ifølge Lorie Hamelin har biogas en række fordele, som kan hjælpe Danmark med at opfylde sine energi- og miljømål. Først og fremmest er biogas fleksibelt, så det kan lagres og bruges på mange måder. Fx kan det opgraderes og sendes ind i naturgasnettet eller bruges i transportsektoren som brændstof til tung transport. Hvis vi genbruger organisk affald, kan vi desuden tilføre jorden næringsstoffer som fosfor, kvælstof og kalium, der ellers går tabt i forbrændingen.

Projektet *Urban Energy* støttes økonomisk af et program (EUDP) under Energistyrelsen.

Mette Christina Møller Andersen, SDU



## Mennesket mod maskinen

Er vi mennesker født med evnen til at løse problemer, eller er det noget vi lærer hen ad vejen? Det spørgsmål arbejder en gruppe forskere på Institut for Fysik og Astronomi på Aarhus Universitet på at besvare. Forskergruppen, der er ledet af lektor Jacob Sherson, har udviklet et computerspil, Quantum Moves, der er blevet spillet 400.000 gange af ganske almindelige mennesker, og som har givet en ganske unik og dyb indsigt i den menneskelige hjernes evne til at løse problemer. Spillet går ud på, at man skal flytte atomer rundt på skærmen og score point ved at finde den optimale måde at gøre det på.

På den måde bidrager ganske almindelige mennesker til at forske i kvantefysik. For en spillers evne til at lægge en strategi og løse et problem er markant anderledes end en computers måde at arbejde på. De 400.000 spillede spil viser, at spillerne har været overraskende gode til at løse de problemer, forskerne har sat op i spillet.

Endnu kan forskerne ikke konkludere noget om styrkeforholdet mellem menneske og maskine, men til gengæld kan de sige, at kvinderne har været bedre til at løse problemerne end mændene. Resultatet er for nylig offentliggjort i tidsskriftet *Human Computation*. Ifølge spilpsykolog Andreas Lieberoth, der er førsteforfatter på artiklen og en del af forskergruppen på Aarhus Universitet, er det måske er en særlig slags kvindelig intuition, der udfolder sig for vores øjne i spillet, holdt op mod en karikeret mandetilgang, der er mere risikobetonet og handlingsorienteret. Den hypotese vil forskerne gerne teste yderligere. Gruppen har for nylig i samarbejde med forskere ved Max-Planck-Institute for Human Development i Berlin lanceret et nyt spil, Quantum Minds, der har til formål at afdække, hvordan den menneskelige hjerne går til det at løse et problem og hermed også yderlige også afklare, om den kvin-

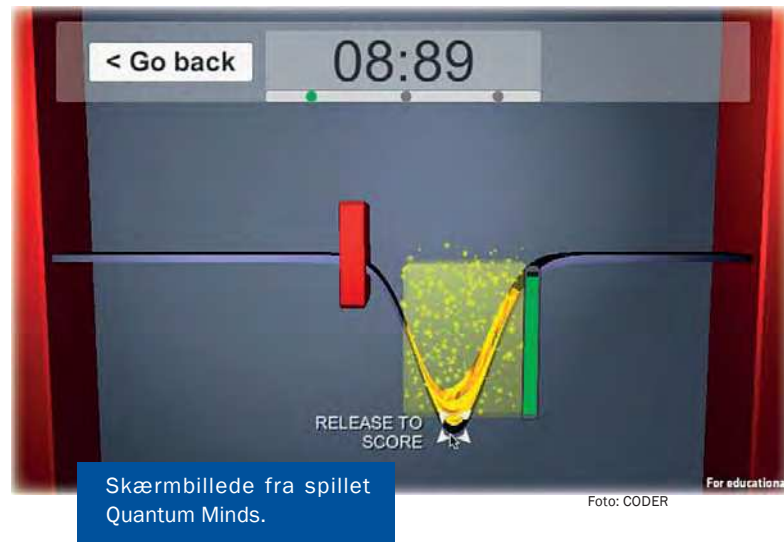


Foto: CODER

For educational

delige hjernes tilgang virkelig er anderledes – og mere effektiv – end den maskuline. En af de store teser bag det nye spil er, at mennesket er velsignet med evnen til at se bort fra irrelevante ting i et problem og fokusere på løsningen. Her er en computer knapt så skarp, da den ikke kan se bort fra selv de mest obskure detaljer, og altid vil tage dem med i løsningsarbejdet.

Forskerne håber, at rigtig mange mennesker vil spille med. Spillet kan du finde på: <http://scienceathome.org/play/>

Kilde: Rømer, Aarhus Univ. *Human Computation* (2014) 1:2 :219-244

## Skanner afslører orms skjulte liv

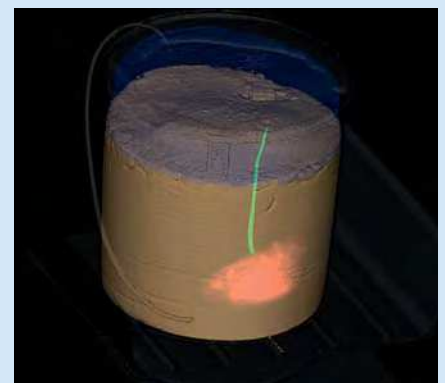
Der lever masser af små dyr i havets sandbund, som alle bidrager til at opretholde et sundt havmiljø. Fx graver sandorme i bunden for at lede efter mikroalger, som de æder. Ligesom andre dyr har de brug for ilt, og den får de fra vand, som de trækker ned til sig i deres gange. Derved transporterer de ilt ned i bunden.

Denne "ventilering" af havbunden er afgørende for omsætningen af næringsstoffer og biogeokemien i kystzonen. Men at beskrive og forstå det tidslige og rumlige mønster af disse gravende dyrs aktiviteter i detaljer, er en udfordring for marinbiologerne, da det hele foregår skjult for vore øjne i sedimentet.

I en nylig afhandling i tidsskriftet PLOS ONE beskriver forskere fra Syddansk Universitet og Odense Universitetshospital, hvordan de

har taget usædvanlige midler i brug for at kigge bunddyrene i kortene. Forskerne har brugt hospitalets PET/CT-skanner til at undersøge sandorme i spande med sand hentet fra Odense Fjord. Spandene fik lov at stå i 8-10 dage, så deres indhold af sand kunne falde sammen og nogle sandorme (*Arenicola marina*) etablere sig. Da fem spande blev skannet, kunne forskerne følge med i, hvordan sandormene opførte sig uden at forstyrre de gravende kræ. Fx havde en spand én beboer, som gravede sig ned gennem sandet og skubbede vand foran sig, så det til sidst mættede sandet i bunden af spanden.

Forsøgene viser, at det er muligt at få et kig ind i bunddyrenes liv ved at skanne dem i et relativt uforstyrret miljø. Ifølge Matthieu Delefosse, der er førsteforfatter på artiklen, kunne det være interessant at bruge teknikken til at verificere og videreudvikle økologiske modeller, så man



kan skanne "real life" sedimentprøver med et naturligt dyreindhold og lade skanneren afsløre, hvilke dyr der lever i et område, og hvordan de opfører sig.

Kilde: SDU, Matthieu Delefosse et al: PLOS ONE, DOI: 10.1371/journal.pone.0122201

## Muslinger smitter hinanden med kræft

En leukæmi-agtig kræftform har hærget bestande af mange forskellige slags muslinger rundt om i verden, og har ført til massive tab af populationer. Sygdommen kaldes dissemineret neoplasi og er kendetegnet ved, at blodceller med nedsat funktionalitet vokser ukontrolleret. Sygdommen blev første gang observeret i sandmuslinger (*Mya arenaria*) langs den nordamerikanske kyst i 1970'erne. Stephen Goff fra Columbia University i New York og kolleger har nu undersøgt DNA fra kræftramte og ikke-kræftramte celler fra flere populationer af denne muslingeart fra kysten af det østlige USA. Det viser sig, at DNA fra de kræftramte celler ikke matcher DNA fra værtsdyrets andre væv. Til gengæld er cancercellerne genetisk identiske med hinanden – de er med andre ord kloner med den samme unikke genotype, der afspejler den genetiske profil af den oprindelige vært, hvor canceren i sin tid opstod. Normalt er kræfttumorer ikke smitsomme eller kan overføres til andre individer, men dissemineret neoplasi er altså et eksempel på en sygdom, der opstår ved overførsel af cancerceller fra individ til individ. Man kender kun to andre "smitsomme" kræfttyper, som rammer hhv. hunde og den tasmanske djævel.



Foto: Jan Johan ter Poorten

Skaller af sandmusling (*Mya arenaria*) – en musling, der hærges af en smitsom type kræft.

Forskerne mener, at hvirvelløse dyr som muslinger kan være specielt følsomme overfor "smitsomme" kræfttyper, da de mangler en del af hvirveldyrenes immunsystem, der genkender fremmede celler.

CRK, Kilde: *Cell*, Vol. 161, nr. 2, p255–263

## Forskere gør gang mere effektiv

Mennesket er så effektivt til at gå, at det på trods af mange bestræbelser hidtil ikke er lykkedes at designe hjælpemidler til at forbedre gangeffektiviteten, uden at disse har en ekstern energiforsyning. Men det har forskere ved Carnegie Mellon University og North Carolina State University nu lavet om på. I tidsskriftet *Nature* har de for nylig rapporteret, at de har bygget et mekanisk "ankel-exoskelet", der reducerer energiforbruget (de metaboliske omkostninger) ved at gå med ca. 7 %. Det svarer nogenlunde til besparelsen på at lette sig for byrden af en rygsæk på 5 kg, og det er lige så gode resultater som andre forskere har opnået ved hjælp af exoskeletter drevet af elektricitet.


Undersøgelser med ultralyd har afsløret, at lægmusklen bruger en del metabolisk energi under "ståfasen" af gang – dvs. før anklen strækkes og benet sendes fremad. Forskernes opfindelse er designet, så den aflaster lægmusklen i denne fase af gangcyklus. En mekanisk kobling forbundet med en fjeder slår til og fra, når foden er hhv. på jorden og løftes, hvilket aflaster lægmusklen i den fase, hvor foden er på jorden. Og det er altså nok til at reducere energiforbruget ved gang med 7 %, selvom man altså må påføre sig lidt ekstra vægt i form af det påmonterede exoskelet. Det er så til gengæld lavet af letvægtsmaterialer og vejer omkring ½ kg pr. ben.



Foto: Stephen Thrift, North Carolina State University

En besparelse på 7 % lyder måske ikke af voldsomt meget, men for nogle mennesker med gangbesvær, kan en sådan forbedring tænkes at gøre en afgørende forskel. Forskerne vil nu teste deres anordning på mennesker med forskellige former for gangbesvær for at vurdere, hvilket design af anordningen der virker bedst for de forskellige typer. De pønser også på at udvikle exoskelet-komponenter beregnet til knæ og hofte, hvor de mener, at man burde kunne høste en endnu større energigevinst. CRK





Hvad sker der egentlig med de enorme mængder af plastik, som ender i havet? Et bud er, at det nedbrydes til mikroplastik, som måske kan påvirke havets mindste liv og dermed grundlaget for alt liv i havet.

# Et hav fuld af mikroplastik

Foto: Colourbox

**B**illeder af døde havfugle med maven fuld af plastikstykker, kvalte havskilpadder, der forvekslede plastikposer med gopler, eller sæler og hvaler, der blev fanget i tabte fiskenet og druknede, har sat plastikforureningen i havet på mediernes dagsorden.

Forskere fra DTU Aqua har fundet plastikstykker på op til en halv centimeter i danske sild og hvilling i det nordlige Storebælt. Andre forskere har fundet plastik i sandorme, muslinger, torsk og makrel i Norsøen og Østersøen. Og i en undersøgelse i Skotland af jomfruhummeres maver fandt man plastikstykker i 83 % af dyrene, hvoraf de fleste bestod af sammenfiltrede plastiktråde.

For at få mere viden om udviklingen i havene omkring Danmark undersøger DTU Aqua nu også indholdet af plast i trawlet på de faste monitorings-togter i Nordsøen og Østersøen.

## Mere og mere plastik

I løbet af de seneste 50 år er plastproduktionen steget kraftigt til 299 millioner tons i 2013, specielt i Asien. En artikel i *Science* har netop dokumenteret, at mellem 4 og 12 millioner ton plastik ender i havet hvert år, og at tallet forventes at blive fordob-

let over de næste ti år. Mens de store stykker plast er nemmere at få øje på, er det de små, mikroskopiske plaststykker, som der er flest af i havet.

Det var også, hvad vi i 2014 fandt i en undersøgelse på tværs af Atlanterhavet til Sargassohavet syd for Bermuda med det danske havforskningseskib Dana. På trods af, at vi sejlede igennem de store områder med strømhvirvler (de såkaldte "gyres"), hvor der efter sigende skulle findes veritable "plastikøer", så vi dem ikke. Til gengæld fandt vi mikroplastpartikler så små, at de bliver overset i mange undersøgelser af plastik i havet.

## Hvor kommer plastik i havet fra?

Det meste af det plastik, som findes i havet, kommer fra land, hvorfra det enten er tabt eller blæst ud i havet eller udledt via vandløb og spildevand. I havet nedbrydes plastik over tid og ender som mikroskopisk plast. Flere plejeprodukter som fx skrubbcremer og tandpasta indeholder også små plastikpartikler. En undersøgelse af spildevandet ved to svenske rensningsanlæg har vist, at selv om disse anlæg fjerner plastpartiklerne fra vandet, så udledes millioner af mikroplastpartikler til havet hver time.



En del af havets plastik (20 %) kommer fra maritime erhverv, herunder fiskeri. Under fiskeri mister fiskerne af og til deres trawl og garn. Sådanne mistede redskaber kan være skadelige, da fugle, havpattedyr og især fisk kan sidde fast i dem eller kan nedbrydes til mikroplastik over tid. I Danmark har vi ikke overblik over mængden og udbredelsen af tabte fiskeredskaber, men i fx Norge har man på årlige oprydningstogter langs den norske kyst hentet kilometervis af fiskegarn, trawl og tovværk op fra havbunden. En anden kilde til plastik i havet er slitage af fiskeredskaber, når disse skurrer mod havbunden. DTU Aqua har på togter med Dana i Nordsøen undersøgt mængden af syntetiske fibre fra tovværk, og undersøgelser tyder på, at der især i kystzonen potentielt kan være ganske betragtelige mængder af fritflydende tovræster i vandsøjlen.

### Hvor bliver plasten af?

Når plastik ender i havet, bliver det transporteret med havstrømme meget langt væk fra dets oprindelsessted på meget kort tid. En undersøgelse har vist, at plastikstykker på 60 dage kan drive mere end 1000 km fra kysten og ud mod midten af den Nordatlantiske Subtropiske Hvirvel (NASG - North Atlantic Subtropical Gyre), hvor en stor del af det flydende plastik bliver fanget. Men en væsentlig del bliver også skyllet tilbage på land igen, hvor det nedbrydes til mindre stykker i standkanten, som igen kan spredes ud i havet.

Omkring halvdelen af det plastik, der forbruges i Europa, er Polypropylen (PP) og Polyethylen (PE), som er lettere end havvand. Det plast, som ender i havmiljøet, vil derfor primært flyde nær overfladen. De andre plasttyper med en højere massefylde

## De største kilder til plastikaffald i havet:

Ulovlig dumpning af affald direkte i (A) spildevandssystemer eller (B) naturen, hvor fra det transporteres af fx floder og vind til havet. (C) Mikroplastik som slipper gennem rensningsanlæg (især syntetiske fibre fra vaskemaskiner), (D) affaldsnedkastning på stranden, (E) tabt, og (F) mistede fiskeredskaber, (G) mistet containerfragt, (H) luftbærent deponeringsaffald og dårlig forvaltning af lossepladser og (I) udslip af industriaffald.



Foto: Colourbox

Det er måske ikke det synlige plastik, som giver de største problemer.

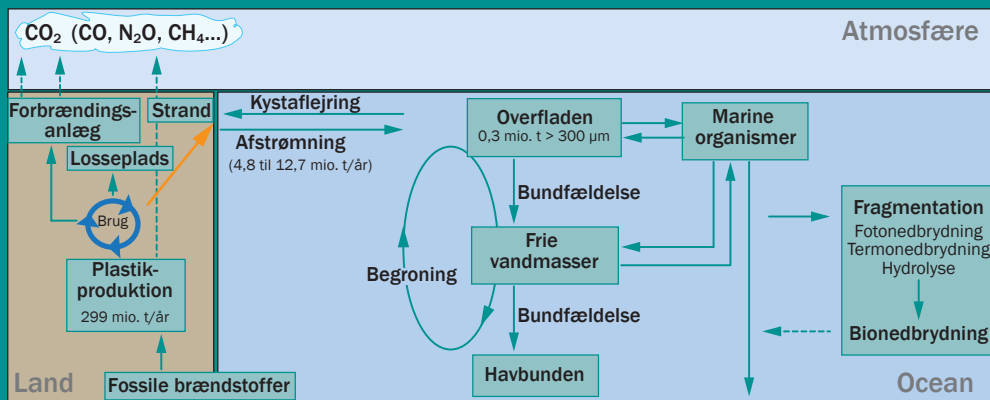
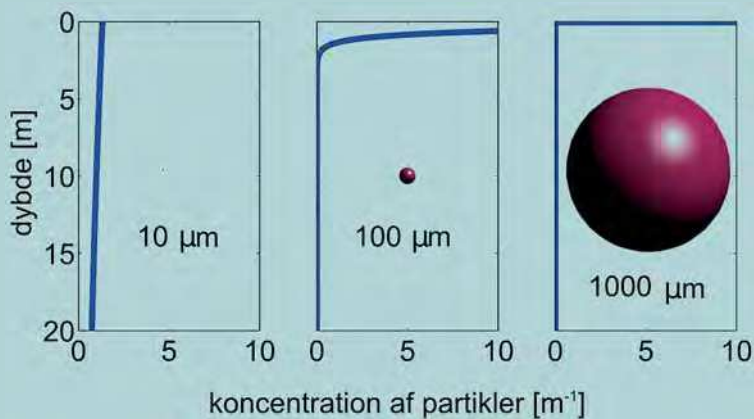
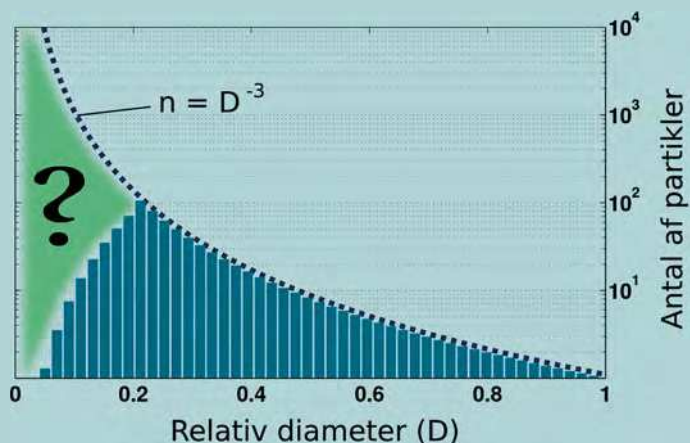


Illustration af "plastikkredsløbet" - de processer, der driver plastikaffald rundt i miljøet. Der er ikke balance mellem den mængde plast, der ledes ud i havmiljøet, og det, vi kan genfinde i overfladen. Dvs. der må være en række tabsprocesser, vi ikke kender til.



## Numerisk modellering

Resultater af en numerisk modellering af flydende plastik-kugler med en densitet svarende til polyethylen. De tre grafer viser fordelingen af plastik-kuglerne i en 20 meter dyb vandsøjle for tre forskellige størrelser efter de har nået "steady state" betingelser. Udgangssituationen var en lige koncentration af 1 partikel pr. meter dybde af alle tre størrelser i hele vandsøjlen. Modelleringen viser, at små partikler blandes dybere ned end større mikroplastikpartikler.

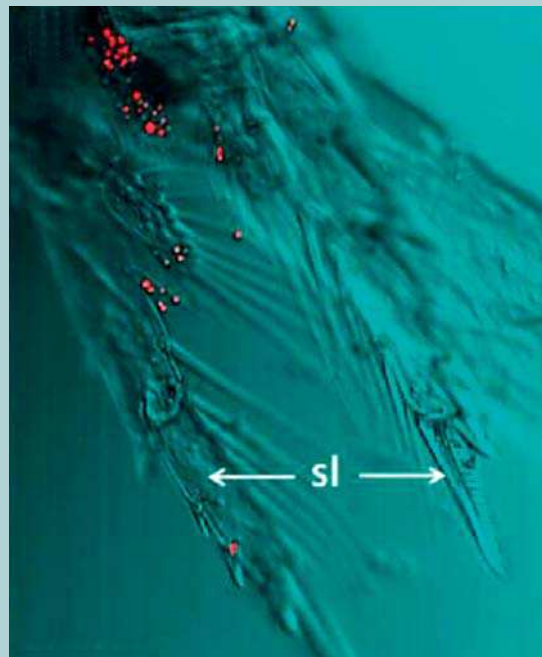


## Observeret fordeling i havet

Den stiplede graf viser det teoretisk forventede antal fragmentstykker, der kommer ud af fragmentering af et enkelt sfærisk objekt. Søjlediagrammet viser den fordeling, man ofte observerer i havet. Det grønne område viser den store mængde af små partikler, som man ikke finder, selv om de burde være der.



Foto af vandloppe, som har spist mikroplastik (markeret med grønt) og nærbillede af vandloppe, hvor mikroplastik (markeret med rødt) klæber sig til vandloppens krop (th).



Fotos: Cole, M. et al: Microplastic Ingestion by Zooplankton. Environmental Science and Technology. Copyright (2013) American Chemical Society.

## Plastik i sild og hvilling fra Storebælt

Der findes mange undersøgelser af fisks indtag af plastik, bl.a. har man fundet plastik i maverne på 37 % af 504 fisk fordelt på ti arter i den Engelske Kanal. Forskere fra DTU Aqua gennemførte i 2013 et studie af 45 unge sild og hvilling fra Storebælt ud for Sejerø Bugt for at undersøge, om også fisk i danske farvande spiser plastik. Fiskenes indvolde blev udtaget og opløst, og prøverne blev filtreret på net med en maskestørrelse på 250 µm. Forskerne fandt mikroplastik i 31 % af hvil-

lingerne og 27 % af sildene. Bortset fra en enkelt egentlig plaststrimmel på ca. 4-5 mm bestod de fleste forekomster af 1-4 sorte, blå eller røde fibre på ca. 1-4 mm. Undersøgelsen af sild og hvilling viser således, at fisk i danske farvande indtager plastik. Der er behov for at undersøge dette yderligere i andre dele af danske farvande og med fokus på flere fiskearter med forskellige fødestrategier, så der tages højde for, om fisk æder fra vandsøjlen, havbunden osv.



som polyvinylklorid (PVC) og polyethyleneterephthalate (PET, også kendt som polyester) vil derimod synke. Hvor hurtigt plastikken synker afhænger også af andre faktorer som fragmenternes størrelse og form.

Adskillige studier af størrelsesfordeling og koncentrationen af flydende eller bundfældede plastikpartikler har vist, at der er flest af de mindste partikler. En svensk undersøgelse har fx sammenlignet antallet af mikroplastik over 300  $\mu\text{m}$  og over 10  $\mu\text{m}$  og fandt, at der var omkring 2500 gange flere partikler i den mindre størrelsesklasse.

Andre undersøgelser har vist, at man finder langt mindre mængder af plastik end man "burde" i forhold til det, vi ved ender i havet. Det spanske globale togt Malaspina i 2010 viste, at plastikstykkerne som forventet akkumulerede i de subtropiske hvirvelzoner, men til forskernes store overraskelse var koncentrationen tusinde gange mindre end forventet ud fra udledningerne. På tilsvarende vis så vi på Danas togt til Sargassohavet i 2014 en højere koncentration af plast i hvirvlerne, men mængderne var langt lavere end forventet. Så hvor bliver plastikken af? Svaret kan findes, hvis vi undersøger de processer, plastikken er udsat for i havet.

### Langtidsholdbart eller ej?

Plastik er meget holdbart, og man antager, at det kan holde i miljøet i århundredere. Imidlertid er den molekylære struktur af plastik i miljøet under konstant forandring, fordi tilsætningsstoffer udvaskes og påvirkninger fra vand og luft ændrer plastens kemiske sammensætning. Disse omdannelsesprocesser er relativt hurtige (måneder til år).

Alt plastik gennemgår en nedbrydningsproces, der omfatter både en fysisk nedbrydning og en langsommere kemisk nedbrydning af polymeren. Hvor hurtigt nedbrydningen foregår afhænger af faktorer som saltholdighed, temperatur og UV-indstrålingen, og der er sandsynligvis steder som dybhavet, iltfrie sedimentter eller polarområder, hvor nedbrydning går overordentligt langsomt. Nedbrydning betyder ikke, at plastikken forsvinder, men at det nedbrydes til meget små partikler, som ikke kan ses med det blotte øje. Nedbrydningsprocesser alene, kan altså ikke forklare det manglende plastik i verdenshavene.

En forklaring kan være, at de små plastikpartikler bliver mere tilgængelige for organismene i havet og forsvinder fra overfladen gennem optag i havets fødekæder og/eller via bundfældelse pga. begroning.

Når bakterier og senere også større organismer som muslinger og rurer sætter sig på et stykke plastik, vil de øge vægten og trække det ned mod bunden.

Disse begroede plastikstykker vil synke dybere ned i vandet eller aflejres på havbunden, men kan også stige op igen, hvis organismene dør eller løsner sig. Derfor kan plastikaffald cirkulere gennem hele vandsøjlen. Derudover har laboratorieforsøg vist, at bakterier muligvis kan omsætte visse plastiktyper. Endelig viser modelleringer, at mindre partikler blandes dybere ned i vandsøjlen end større. Det betyder, at små partikler måske ikke fanges i repræsentativt antal af prøvetagningsmetoder, der samler plastik fra havoverfladen.

En samlet forståelse af nedbrydningshastigheden af plastik i havmiljøet og betydningen af de forskellige miljøpåvirkninger har vi imidlertid ikke. Derfor er der behov for nærmere at undersøge, hvor meget og hvor hurtig samspillet af de forskellige nedbrydningsprocesser omdanner vores affald til mikro- (og nano-) meter store plastiktøvparkler, og hvordan disse små plastiktøvparkler påvirker det omgivende havmiljø.

### Æder dyreplankton plastik?

Mens de fysiske skader på større dyr forårsaget af plastik er meget synlige og veldokumenterede, ved man intet om, hvordan mikroplastik påvirker dyr som dyreplankton og småfisk. I de fleste studier er mikroplastik defineret som plastikstykker mindre end 5 mm. Mange studier af mikroplastik over ser partikler, der er mindre end 300  $\mu\text{m}$ , hvilket er dem, som filtrerende dyreplankton som vandlopper kan æde (10-100  $\mu\text{m}$ ). Derfor er det relevant at undersøge, om disse mikroplast-partikler kan påvirke havets mindste liv, dyreplankton, fiskelarver og muslinger, som mange andre dyr lever af.

Dyreplankton, domineret af vandlopper, er det vigtige fødekædeledd mellem planteplankton og fiskelarver. Man har i laboratoriet vist, at en lang række planktondyr æder mikroplastik-partikler, og at vandlopper, der fodres med mikroplastik, ændrer adfærd. Den hydrofobe mikroplastik kan også hæfte sig til vandlopperne, og det kan forstyrre deres naturlige svømmeadfærd, fødeoptagelse samt parringsadfærd.

Når plastikken optages af dyreplankton, kan det efterfølgende føres op gennem fødekæden. Men da plastikken tilsyneladende ikke optages i dyrenes væv, finder der ikke en egentlig opkoncentrering af plastik sted gennem fødekæden, da plasten udskilles igen med dyrenes fækaler.

Nogle af de kemikalier, der tilsættes til plastik under produktionen, har hormon-lignende virkning, og de bliver frigivet, når plastikken nedbrydes i havet. Derudover kan andre organiske miljøgifte som PCB og DDT bindes på plastikkens overflade, så plastikstykkerne virker som en form for magnet, der opsamler miljøgifte fra omgivelserne.

### Om forfatterne:



Kristina Enders er specialstuderende i Aquatic Science and Technology kren@aqu.dtu.dk



Robin Lenz er specialstuderende i Aquatic Science and Technology robe@aqu.dtu.dk



Thomas Kirk Sørensen er biolog og specialkonsulent tks@aqu.dtu.dk



Line Reeh er kommunikationsmedarbejder lre@aqu.dtu.dk



Torkel Gissel Nielsen er Professor i Biologisk Oceanografi tgin@aqu.dtu.dk

Alle ved DTU Aqua

## På jagt efter mikroplastik

I 2014 var vi med Danmarks største havforskningskib, Dana, i Sargassohavet syd for Bermuda for at undersøge ålens gydepladser. I den forbindelse fik vi mulighed for at udvikle, teste og bruge en metode til at undersøge, hvor meget mikroplastik, der var i havet på Danas 10 uger lange rute fra Hirtshals over Atlanten og tilbage igen. Vores fokus var de helt små mikroplastikpartikler på 10 µm.

Til det formål byggede vi et filtersystem, som kunne monteres på DANA's saltvandsindtag og kontinuerligt indsamle prøver på en 300 µm og en 10 µm filterkapsel langs den over 10.000 km lange sejlroute.

Ruten gik igennem forskellige havområder – fra Nordøen over det åbne Atlanterhav til Sargassohavet. Og så passede Dana igennem den Nordatlantiske hvirvel, også kendt som "Plastikøen". Plastikøer fandt vi dog ikke, om end vores togt bekræftede, at der var en højere koncentration af plastik her end i de andre havområder, som vi sejlede igennem (et stykke plastik af flaske til fiskenet-størrelse blev observeret ca. hvert andet minut fra toppen af skibet, som sejlede med 10-12 knob). Vi udskiftede filtrene i vandet fra saltvandsindtaget cirka hver 12. time og indsamlede i alt omkring 80 prøver.

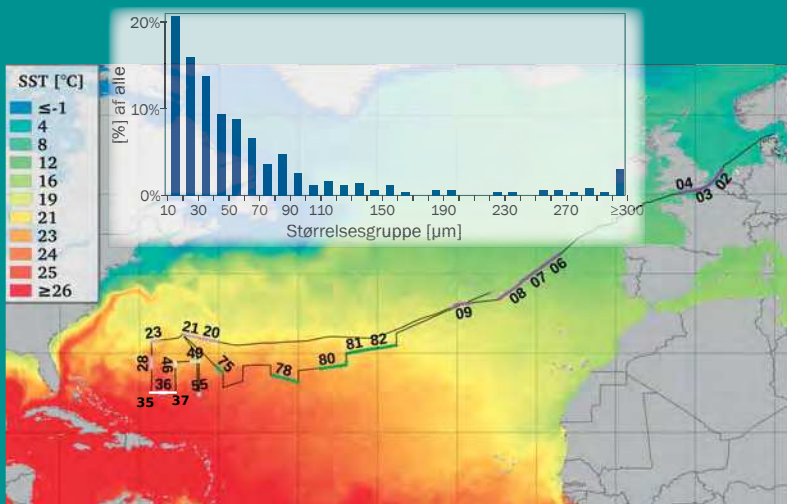
For at udvikle en standardiseret metode, som på sigt kan gøre det muligt at sammenligne data fra forskellige studier, har vi brugt DTU Nanotechs Raman mikrospektrometer. Det er et særligt mikroskop, som er udstyret med en laser, der kan stimulere enkelte partikler ned til 1 µm størrelse. Afhængigt af molekylestrukturen af det undersøgte materiale vil det sprede lyset i et spektrum, som afslører stoffes kemiske sammensætning, så det kan bruges til at bestemme typer af plast. Det kræver stadig manuelt arbejde, da man er nødt til at fortælle instrumentet, hvilke partikler der skal scannes, men nyere versioner vil gøre det muligt at analysere en prøve automatisk.

Den foreløbige analyse har vist en lang række typer af mikroplastik. Især fibre af syntetiske tekstiler (ca. 32 %), stykker af fx. plastfolie (ca. 46 %) og fragmenter nedbrudt fra større plastikgenstande (ca. 22 %). Koncentrationerne var mellem 100 til 400 partikler pr. kubikmeter vand, men varierede betydeligt mellem de enkelte stationer. Vi analyserer i øjeblikket sammenhængen mellem fragmenteringsprocesserne og strømforhold for bedre at forstå spredningen af mikroplastik. Størrelsesfordelingen viser langt flere af de små partikler end af de større, hvilket stemmer overens med teorien om mikro- og nanofragmentering.

Kristina analyserer spektra af potentielle mikroplastikpartikler i Raman-mikrospektroskopet (i baggrunden til højre). Foto: Kristina Enders



Stævnindtag (nederst til højre) på Dana. På grund af bølger og skibets bevægelser var vandet, som vi filtrerede for mikroplastik, en blanding af vand fra overfladen og op til fem meter ned. Øverst til højre ses filter i aktion. Fotos: Line Reeh



Kort over Danas rute til og fra Sargassohavet, som viser hvor vi tog prøver af mikroplastik. Diagrammet i toppen af kortet viser den samlede størrelsesfordeling af plastik. En sammenligning af koncentrationer af mikroplastik mellem stationerne vil være det næste trin i den igangværende analyse.

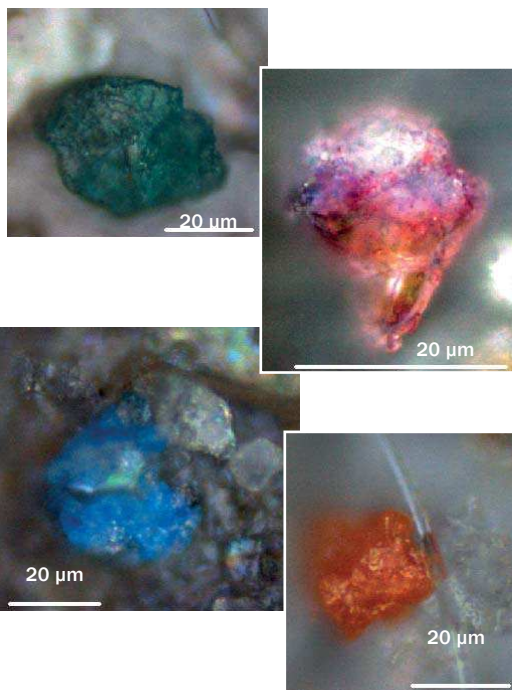




På den måde kan man sige, at plastikstykker renser havet for organiske miljøgifte ved at "opsamle" dem, men dermed kan plastikfragmenter med miljøgifte på overfladen blive en farlig cocktail, hvis de bliver spist. Et engelsk studie har således vist, at miljøgifte frigives lettere fra plastikoverfladen i et fordøjelsessystem med lavere pH og højere temperaturer end det omgivende vand.

Alt i alt kan man sige, at mikroplastik kan påvirke vandlopperne negativt ved at fortynde deres føde med ufordøjelige plastikpartikler, og de giftstoffer, som er bundet til mikroplastens overflade, kan optages af vandlopperne og på denne måde bioakumuleres gennem fødekæden.

Koncentrationen af mikroplast i åbent hav er i sig selv næppe skadelig for de organismer, som æder dem. Det er dog ganske vigtigt, at vi får svar på, i hvor høj grad organismernes indtag af plast forstærker ophobningen af miljøgifte i deres væv og dermed i marine fødekæder, hvor mennesket er øverste led. Dette spørgsmål er ved at blive undersøgt af bl.a. DTU gennem fordringsforsøg med plast i lukkede fiskeopdrætsanlæg.



Fotos af mikroplast taget gennem mikroskop. Størrelser er i mikrometer.

Fotos: Robin Lenz og Kristina Enders

#### Videre læsning:

Magnusson, K. & Wahlberg, C., 2014. Mikroskopiska skräppartiklar i vatten från avloppsreningsverk (Microscopic litter particles in water from WWTPs, in Swedish) IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B 2208 p. 30.

Cole, M. et al (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. Environmental Science and Technology, 47(12), 6646–6655. doi:10.1021/es400663f

Cózar, A. et al (2014). Plastic debris in the open ocean. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(28), 10239–10244. doi:10.1073/pnas.1314705111

#### ANNONCE



## Ved dine elever, at de kan blive studerende for en dag?

Dine elever har mulighed for at afprøve et studie, før de bestemmer sig. De følges med en studerende, så de oplever undervisning, projektarbejde og studiemiljø. Det tilbud har Ingeniøruddannelserne på SDU hele året rundt. Som noget helt særligt afholder vi den 20. maj et fælles studerende for en dag-arrangement.

Her samles alle studieretninger i henholdsvis Odense og Sønderborg. Det giver eleverne mulighed for at møde flere studerende – og måske kommende studiekammerater på samme tid. De studerende viser rundt og snakker med eleverne om deres studie. Vi giver en sandwich og en T-shirt. Måske kunne det være noget for dine elever?

#### Studerende for en dag-arrangement d. 20. maj i Odense og Sønderborg:

- Sønderborg den 20. maj kl. 9-12
- Odense den 20. maj kl. 12-15

Læs mere på [www.sdu.dk/tek/studerendeforendag](http://www.sdu.dk/tek/studerendeforendag)

#### Tilmelding og kontakt

Tlf. 6550 7444 / [brobygning@tek.sdu.dk](mailto:brobygning@tek.sdu.dk).

# Bliver man stærkere af D-vitamin?



Foto: Colourbox

## Forfattere



Rikke E. Larsen, lektor  
cand. scient. i human  
Ernæring,  
rila@phmetropol.dk

Mange danskere har om vinteren et for lavt niveau af D-vitamin i blodet. Udover at dette kan have betydning for udvikling af en række sygdomme, er der også meget, der tyder på, at et lavt niveau af D-vitamin har en negativ virkning på vores muskelfunktion.



Lasse Kristian Suhr,  
lektor, cand. scient. i idræt  
lakr@phmetropol.dk

En af de bedst beskrevne funktioner for D-vitamin er dets rolle i forbindelse med optagelse af den calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), man indtager via kosten, og dermed for opretholdelse af knoglemassen og således risikoen for udvikling af knogleskørhed. I de senere år, har en række studier også sat D-vitamin i relation til flere andre funktioner i kroppen som fx påvirkning af immunsystemet, forskellige former for kræft, multipel sklerose og leddegigt. Og det er ikke helt uvæsentligt i forhold til, hvor længe vi lever, som for nyligt er påvist af danske forskere. De fastslog, at der var en kraftig forøget dødelighed, bl.a. i forhold til kræft, for folk med lave koncentrationer af D-vitamin.

Udover ovennævnte sygdomme, tyder meget også på, at D-vitamin har en effekt på vores muskulatur og dermed på vores præstationsevne. Det er et velkendt fænomen for mange, der træner meget, at

den træningsindsats, man lægger hen over vinteren, ikke nødvendigvis står mål med en forbedring i præstationsevnen. Når det så bliver forår, opleves det modsat, at der pludselig sker store fremskridt i præstationsevnen, uden man har ændret på træningsmængden. Et bud på en forklaring er, at det skyldes ændringer i mængden af kroppens D-vitamin. Spørgsmålet er, om danskernes mængde af D-vitamin i kroppen virkelig falder så meget over vinteren, at dette er en mulig forklaring, og om D-vitamin i det hele taget påvirker vores muskelfunktion? Det vil vi forsøge at belyse nærmere på baggrund af den eksisterende litteratur på området.

## D-vitamin, indtag og anbefalinger

Der findes to forskellige kilder til D-vitamin: solen og kosten. Størstedelen af den D-vitamin, kroppen indeholder (ca. 80-90 %), dannes,

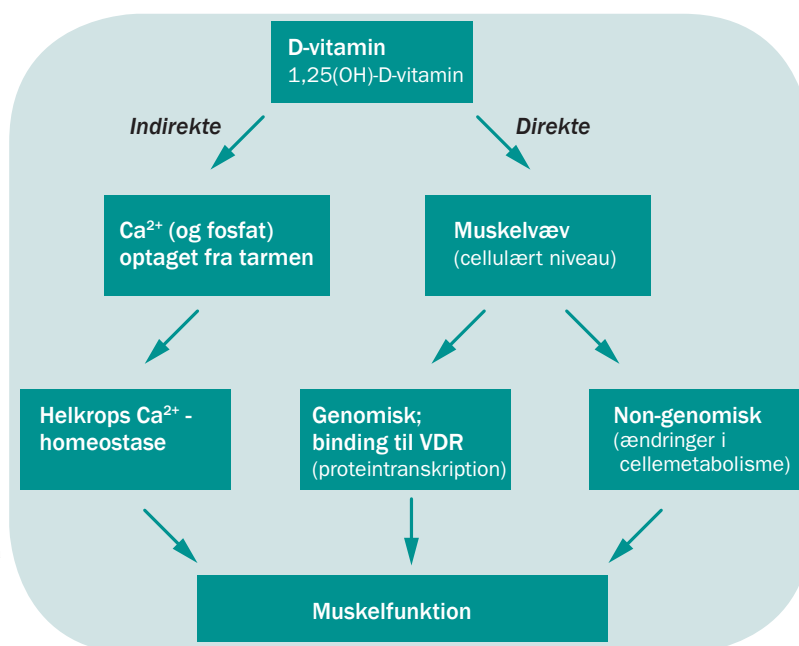
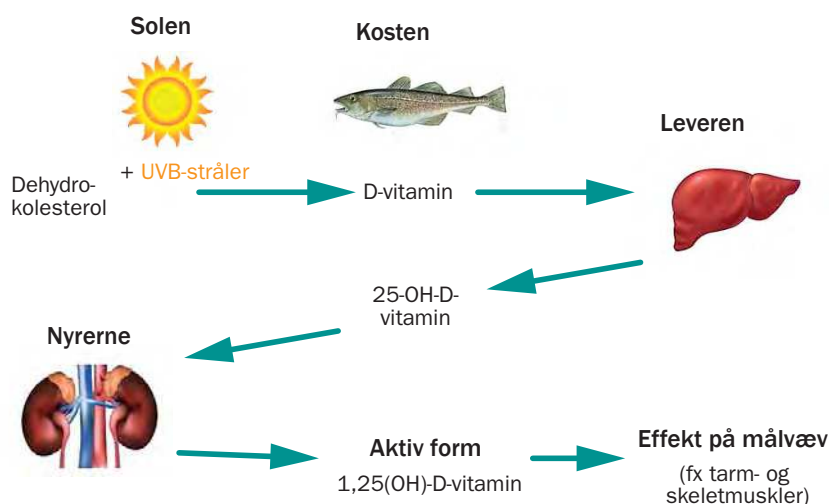


Michael Kristensen,  
lektor, ph.d. i biologi  
mikr@phmetropol.dk

Alle ved Ernæring og  
Sundhed, Professions-  
højskolen Metropol.



Kilder til D-vitamin, og den videre omdannelse af D-vitamin til dens aktive form 1,25(OH)-D-vitamin



Potentielle effekter af D-vitamin på muskelceller (for detaljer se tekst). VDR = Vitamin D-receptor.

når huden udsættes for solens UVB-stråler. Når dette sker, omdannes stoffet dehydrokolesterol til D-vitamin. I sommerhalvåret har de fleste danskere ingen problemer med at danne nok D-vitamin. Som hovedregel kræver det blot, at hoved, arme og ben bliver eksponeret for solens stråler i 10-15 minutter to til tre gange om ugen. I vinterhalvåret fra oktober til marts ser det dog helt anderledes ud. I den periode står solen i Danmark så lavt på himlen, at der stort set ikke dannes D-vitamin i huden, og man er derfor afhængig af det D-vitamin, som indtages via kosten.

Selv om der er flere forskellige kilder til D-vitamin i vores kost, kan det i praksis være svært at få kroppens behov dækket. I perioden 2003 til 2008 var danskernes daglige indtag af D-vitamin fra kosten på 3,8  $\mu\text{g}$  og 3,1  $\mu\text{g}$  for henholdsvis mænd

og kvinder. Til dette tal skal lægges et gennemsnitligt indtag af D-vitamin fra forskellige typer af tilskud på ca. 3  $\mu\text{g}/\text{dag}$ . Det samlede indtag ligger dog stadigvæk en del under anbefalingen, der lyder på 10  $\mu\text{g}/\text{dag}$ . I den forbindelse er det værd at bemærke, at det samlede indtag er et gennemsnit af befolkningen, hvorfor nogle indtager mere end den anbefalede mængde, mens andre indtager betydeligt mindre.

D-vitamin er et fedtopløseligt vitamin og bliver derfor oplagret i vores fedtdepoter. Trods denne buffermekanisme har mange danskere sidst på vinteren et D-vitaminiveau i blodet, der ligger under den officielt bestemte nedre grænseværdi på 50 nmol/l. Etableringen af denne grænseværdi har primært taget udgangspunkt i, ved hvilken koncentration af D-vitamin i blodet der ses en stabi-

lisering af calciumniveauet. Ligger koncentrationen under dette niveau, vil kroppen begynde at nedbryde knoglerne. Det er et problem, da det på sigt vil øge risikoen for udvikling af knogleskørhed. Dog er det uvist, om denne grænseværdi er optimal i forhold til de øvrige funktioner, D-vitamin er påvist at influere på, deriblandt muskelfunktionen.

### D-vitamin og muskelfunktion

I forhold til muskelfunktionen tyder det på, at D-vitamin kan påvirke vævet både direkte og indirekte. Den direkte påvirkning er, når D-vitamin optages i muskelvævet og igangsætter forskellige processer direkte i dette. Denne mulighed understøttes af, at der i muskler findes D-vitaminreceptorer. Den indirekte påvirkning på muskulaturen er D-vitamins funktion i forbindelse med den generelle regulering af kroppens calciumindhold.

Muskelmassen er estimeret til at udgøre ca. 42 % og 35 % af den samlede kropsvægt for henholdsvis mænd og kvinder. Muskelceller er karakteriseret ved, at der skal dannes et aktionspotential, for at de kan trække sig sammen og dermed gøre kroppen i stand til at bevæge sig. Et aktionspotential er afhængig af, at der er forskel på mængden af henholdsvis natrium- ( $\text{Na}^+$ ) og kalium- ( $\text{K}^+$ ) ioner inde i cellen i forhold til udenfor. Under længerevarende hård fysisk aktivitet har det vist sig umuligt at opretholde denne forskel. Især den observerede stigning i kaliummængden udenfor muskelcellen formodes at hæmme dannelsen af aktionspotentialer og dermed nedsætte muskel-

funktionen, så fænomenet muskeltræthed opstår. Netop denne forskel på mængden af henholdsvis  $\text{Na}^+$ - og  $\text{K}^+$ -ioner hhv. inde i og udenfor cellen er tilsyneladende ændret hos personer, der lider af D-vitaminmangel. Det kan være én mulig forklaring på D-vitamins direkte påvirkning af muskelfunktionen.

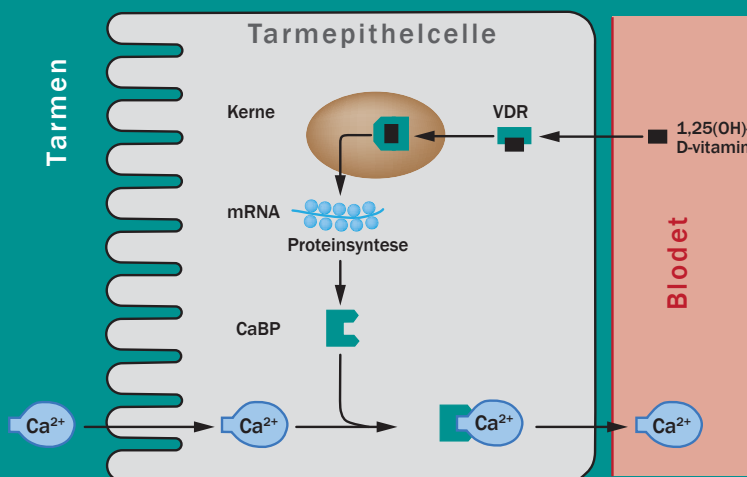
En konsekvens af, at et aktionspotential løber over en muskelcelle, er en kraftig stigning i koncentrationen af calciumioner ( $\text{Ca}^{2+}$ ) inde i cellerne. Denne stigning kommer både fra calcium, der løber ind i cellen, og ikke mindst fra calcium, der strømmer ud fra et cellulært depot kaldet sarkoplasmatiske retikulum. Calciumioner er essentielle for, at musklerne kan trække sig sammen. Det betyder også, at ændringer i calciumkoncentrationerne i muskelcellerne kan påvirke især den maksimale kraft, men formodentlig også kraftudviklingen over længere tids arbejde.

Som nævnt regulerer D-vitamin calciumkoncentrationen i blodet og dermed også i cellerne, og D-vitamin kan på den måde indirekte påvirke muskelfunktionen. Frigivelsen og ikke mindst fjernelsen af calcium fra muskelceller under aktionspotentialer har også en stor betydning for muskelfunktionen under fysisk aktivitet. Meget tyder på, at D-vitamin har en direkte effekt på nogle af de forskellige proteiner, som er med til at regulere calciumkoncentrationerne i cellerne.

### D-vitamin i praksis

Forskellige studier indikerer, at ovennævnte teorier i større eller mindre grad også har hold i vir-

## D-vitaminmangel og knogleskørhed (osteoporose)



Regulering af optagelsen af calcium fra tarmen og over i blodet. VDR = Vitamin D-receptor, mRNA = messenger RNA,  $\text{Ca}^{2+}$  = calcium, CaBP = calciumbindende protein.

En af de bedst beskrevne funktioner for D-vitamin er dets involvering i optagelsen af calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) fra tarmssystemet. Calcium er nødvendigt for at opbygge vores knogler (knoglerne indeholder 99 % af kroppens  $\text{Ca}^{2+}$ ). D-vitamin øger koncentrationen af det  $\text{Ca}^{2+}$ -bindende transportprotein (CaBP) i tarmen og er dermed med til at øge optagelse af  $\text{Ca}^{2+}$  fra denne, samt sænker D-vitamin udskillelsen af  $\text{Ca}^{2+}$  fra nyrerne. Samlet set er dette med til at bibeholde en stabil koncentration af  $\text{Ca}^{2+}$  i blodet.

Omvendt vil mangel på D-vitamin medføre en nedsat optagelse af  $\text{Ca}^{2+}$  fra tarmen. Over tid kan det medføre et fald i  $\text{Ca}^{2+}$ -koncentration i blodet, hvilket stimulerer dannelsen af parathyroideahormonet (PTH). PTH stimulerer nedbrydning af knoglerne, hvilket er med til at normalisere  $\text{Ca}^{2+}$ -koncentrationen i blodet. Denne mekanisme kan med tiden føre til udvikling af knogleskørhed.



keligheden. Det er således vist, at et lavt D-vitaminiveau i blodet hæmmer den absolutte muskelfraft, mens det omvendt kan have en positiv effekt, når D-vitamin er til stede i større mængder. Generelt er det dog dårligt belyst, hvor stor en mængde D-vitamin, det er nødvendigt at indtage for at sikre en optimal muskelfunktion. Det skyldes både, at indtagelse af D-vitamin i de enkelte studier ofte ligger relativt tæt på hinanden (5-25 µgram/dag), og fordi de mængder, der gives, oftest er i underkanten af, hvad der er foreslået nødvendigt for at bevare en optimal muskelfunktion. Derudover inkluderer de fleste studier kun to grupper, en kontrolgruppe, der får et placebo og en gruppe, der modtager en given mængde D-vitamin. Derfor er det ikke muligt ud fra eksisterende litteratur at afklare, hvor stort et D-vitaminindtag, der er ideelt i forhold til optimal muskelfunktion.

Der er således både i teorien og i praksis meget, der tyder på, at D-vitamin på en eller anden måde har en effekt på muskelfunktionen og dermed på præstationsevnen. Det indikerer også, at den lave koncentration af D-vitamin mange danskere har, kan påvirke muskelpræstationen og dermed hverdagen for mange danskere.

### Bør danskerne indtage mere D-vitamin?

Som nævnt tidligere er danskernes indtag af D-vitamin langt fra optimalt i forhold til den officielle anbefaling på 10 µg/dag. Konsekvensen er, at en stor del af den danske befolkning sidst på vinteren har et D-vitaminiveau på under 50



Nedsat muskelstyrke kan for ældre mennesker betyde øget risiko for fald.

Foto: Colourbox

## Fødevarer og D-vitamin

Fisk er den bedste kilde til D-vitamin. Det er dog ikke ligegyldigt, hvilke fisk man spiser. Som det fremgår af tabellen, er det de såkaldte fede fisk, som indeholder langt mest D-vitamin. Derudover er det især æg og mælkeprodukter, der bidrager til danskernes indtag af D-vitamin - men de indeholder betydelig mindre mængder D-vitamin end de fede fisk.

Fødevarer (fisk)	D-vitamin pr 100 g. fødevarer	Mængde af fødevarer der skal spises for at indtage 10 µg D-vitamin
Torskelever, (konserves)	100 µg	10 g
Laks, (gravad)	30 µg	33,3 g
Torsk, (rogn, konserves)	11 µg	90,9 g
Makrel i tomat (konserves)	2,4 µg	0,42 kg
Tun i olie, (konserves)	2,1 µg	0,48 kg
Skrubbe, (rå)	0,8 µg	1,25 kg

Fødevarer (andet)	D-vitamin pr 100 g.	Mængde fødevarer der skal spises for at indtage 10 µg D-vitamin
Æg, hele, rå	1,75 µg	0,57 kg
Smør, saltet	0,76 µg	1,32 kg
Svine- og oksekød (hakket)	0,6 µg	1,67 kg
Ost	0,31 µg	3,22 kg
Minimælk (0,5 %)	0,075 µg	13,3 kg
Minimælk, D-vitaminberiget (0,5 %)	0,75 µg	1,33 kg

Kilder: Foodcomp.dk og USDA.gov

**Relevante links og andet læsning:**

Girgis CM, Clifton-Bligh RJ, Hamrick MW, Holick MF, Gunton JE. The roles of vitamin D in skeletal muscle: form, function, and metabolism. *Endocr Rev.* 2013 Feb;34(1):33-83

De Nordiske Næringsstofanbefalinger (NNR) 2013. [www.norden.org/nnr](http://www.norden.org/nnr)

Fødevaredatabanken. DTU Fødevareinstituttet. [www.foodcomp.dk](http://www.foodcomp.dk)

Muskeltræthedens velbevarede hemmelighed. *Aktuel Naturvidenskab* 2009, nr. 2.

nmol/l. Det korte svar er derfor: Ja, de fleste danskere bør indtage mere D-vitamin. Det ville være optimalt, hvis dette kunne ske via kosten. I praksis har det dog vist sig svært, især da danskerne spiser for lidt af den vigtigste kilde til D-vitamin, fede fisk. Nogle mennesker prøver at afhjælpe dette ved at indtage forskellige typer af tilskud. En anden metode er berigelse af forskellige fødevarer med D-vitamin, hvilket blev tilladt i Danmark i 2003.

På DTU Fødeinstituttet undersøgte man i 2010/2011 effekten af at indtage D-vitaminberiget mælk og brød på evnen til at opretholde en tilstrækkelig koncentration af D-vitamin henover vinteren. I alt næsten 800 børn og voksne var inddraget i forsøget. Halvdelen modtog de berigede fødevarer, således at deres normale indtag af brød og mælk blev erstattet med de berigede fødevarer, mens den anden halvdel fik fødevarer uden tilsat D-vitamin. Det viste sig, at de personer, der fik D-vitaminberiget brød og mælk var i stand til at holde et D-vitaminniveau over 50 nmol/l henover vinteren, hvilket indikerer, at berigelse af fødevarer med D-vitamin kan være en mulig løsning til at forebygge D-vitaminmangel bredt i den danske befolkning.

Man bør være opmærksom på, at store mæng-

der af D-vitamin kan være giftigt. Hvor meget, der skal til for at nå denne grænse, er stadigvæk til debat, men de Nordiske Næringsstofanbefalinger opererer med en øvre grænse for voksne på 100 µg/dag.

**Konsekvenser af manglende D-vitamin**

Man kan spekulere meget i konsekvenserne af, at så stor en del af danskerne tilsyneladende har en lav koncentration af D-vitamin, både i forhold til knogleskørhed såvel som forskellige sygdomme og i relation til nedsat muskelfunktion. Emnet er naturligvis relevant for meget aktive personer herunder elitesportsfolk, hvor en optimal muskelfunktion er af afgørende betydning for præstationsevnen. Emnet er dog også yderst relevant for inaktive personer. En D-vitaminrelateret reduktion af muskelkraften kan potentielt gøre folk endnu mindre aktive med fare for udvikling af overvægt og diverse livsstilssygdomme. Det er også relevant for ældre mennesker, hvor muskelstyrken har indflydelse på, hvor ofte man falder og dermed for risikoen for knoglebrud.

Der ligger således en vigtig opgave i at klarlægge den præcise funktion af D-vitamin og muskelfunktion, når man ser på emnets relevans, både for den enkeltes livskvalitet og for samfundet som helhed. ■

## De bedste uddannelser til de bedste studerende

### Naturvidenskab på Syddansk Universitet

Er det din plads?

Få tilsendt vores nye uddannelsesmagasin.  
Send dit navn og din adresse til  
[natkom@sdu.dk](mailto:natkom@sdu.dk)





# 21 UDDANNELSER OG EN VERDEN AF MULIGHEDER

Du kan vælge mellem 21 natur- og biovidenskabelige bacheloruddannelser på Københavns Universitet. Bygger du videre på din viden efter bacheloruddannelsen, har vi 33 kandidatuddannelser, der kan føre til hundredevis af karrieremuligheder.

21 NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE BACHELORUDDANNELSER:  
 Biokemi \* Biologi \* Biologi-bioteknologi \* Datalogi \* De fysiske fag  
 \* Forsikringsmatematik \* Fødevarer og ernæring \* Geografi og  
 geoinformatik \* Geologi-geoscience \* Have- og parkingeniør \*  
 Husdyrvidenskab \* Idræt \* Jordbrugsøkonomi \* Kemi \* Landskabs-  
 arkitektur \* Matematik \* Matematik-økonomi \* Molekylær biomedicin  
 \* Nanoscience \* Naturressourcer \* Skov- og landskabsingeniør

LÆS MERE OG SE FILM OM  
 VORES UDDANNELSER OG DINE  
 MANGE MULIGHEDER PÅ

***science.ku.dk***

LIKE FACEBOOK-SIDEN

**LÆS PÅ SCIENCE - KØBENHAVNS UNIVERSITET**  
 OG FÅ STUDIEINFO DIREKTE PÅ DIN VÆG





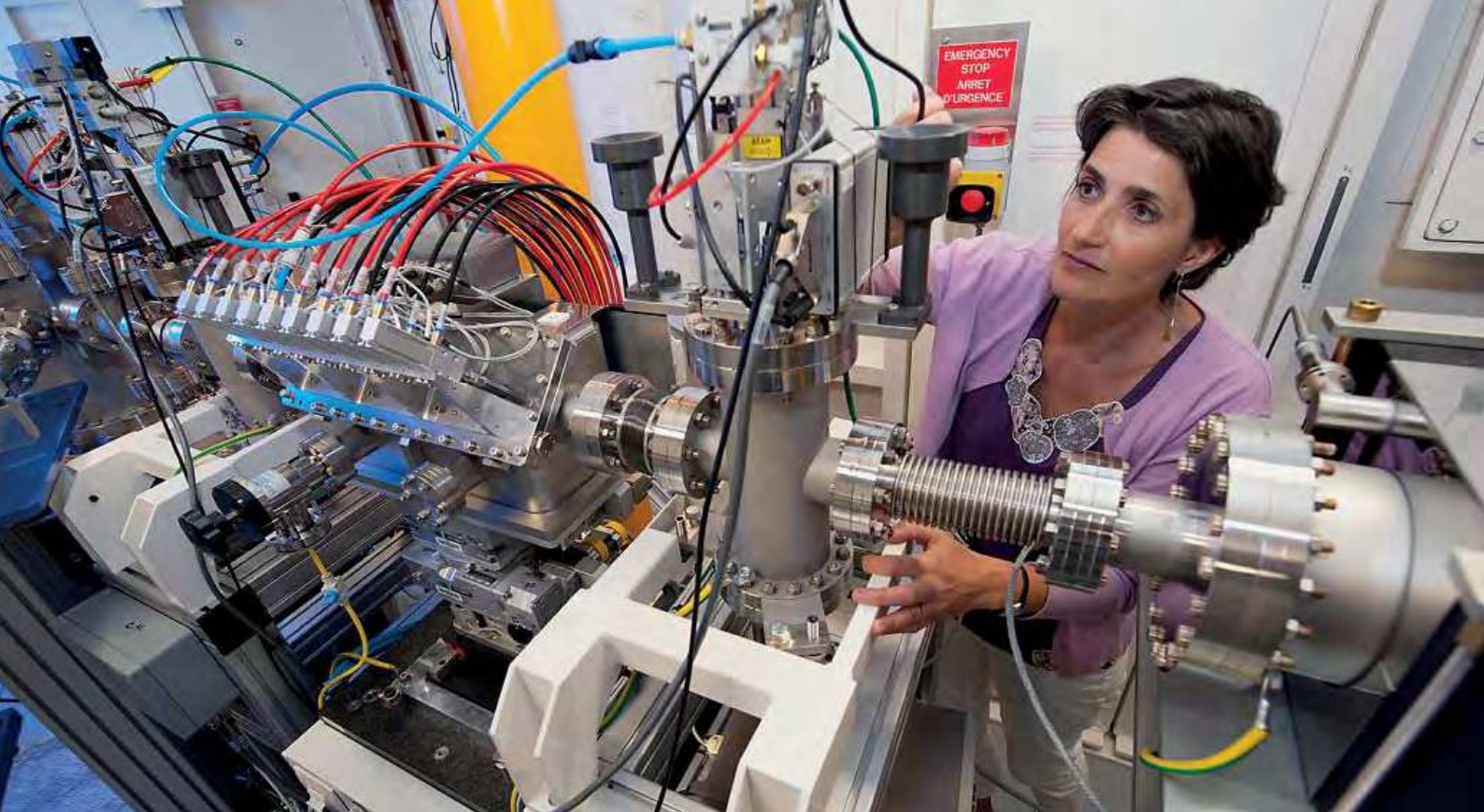


Foto: M. Alexander/2014

#### Forfatterne



Henning Friis Poulsen,  
professor  
Institut for Fysik, DTU  
hfpo@fysik.dtu.dk



Jens Wenzel Andreasen,  
seniorforsker  
Institut for Energikonver-  
tering og -lagring, DTU  
jewa@dtu.dk;



Søren Schmidt,  
seniorforsker,  
Institut for Fysik, DTU  
ssch@fysik.dtu.dk



Robert Feidenhans'l,  
professor  
Niels-Bohr Institutet,  
Københavns Universitet  
robert@nbi.ku.dk

# På opdagelse i materialernes indre

Grænserne for, hvad det er muligt at visualisere af materials indre, har flyttet sig langt siden de første røntgenbilleder. Med de nyeste røntgen- og neutronteknikker har forskerne fået kraftfulde redskaber til at lave 3D-billeder og 3D film af de fineste strukturer i alt fra fødevarer til metaller.

Det er velkendt fra tandlægen og lufthavnen, at røntgenstråler kan bruges til at gennemlyse et objekt. Med medicinske skannere er det videre muligt at danne tredimensionale (3D) billeder af patienten. I vores arbejde beskæftiger vi os med tilsvarende 3D-visualiseringer i materialeforskningen. Med disse kan vi studere, hvordan materialer og komponenter er bygget op. Da man ikke skal skære prøven op for at gøre det, kan man endvidere følge, hvordan strukturen ændrer sig med tiden under fremstilling eller brug.

Ved at bruge en synkrotron som røntgenkilde i stedet for dem, der fx bruges på hospitaler og i lufthavne, kan man have op til en milliard gange flere røntgenstråler til rådighed i hvert punkt, der skal afbil-

des. For de fleste ikke-biologiske prøver er strålings-skade ikke noget problem, og man kan derfor fuldt udnytte den kraftigere stråling. Det betyder fx, at opløsningen i billederne konstant forbedres, og i dag kan være bedre end 10 nanometer (nm). Disse "live"-film i 3D er en meget kraftfuld måde at forstå materialer på og bliver derfor i dag brugt indenfor alle tekniske og naturvidenskabelige discipliner. Fx til studier af, hvordan olie og vand flyder gennem prøver af undergrunden, og af hvordan en ydre belastning leder til start af en revne i en jernbaneskinne.

## Røntgentomografi

Ved den klassiske metode til at lave røntgenbilleder i 3D (røntgentomografi) tages der en række 2D-skyggebilleder af en prøve, mens den roteres om



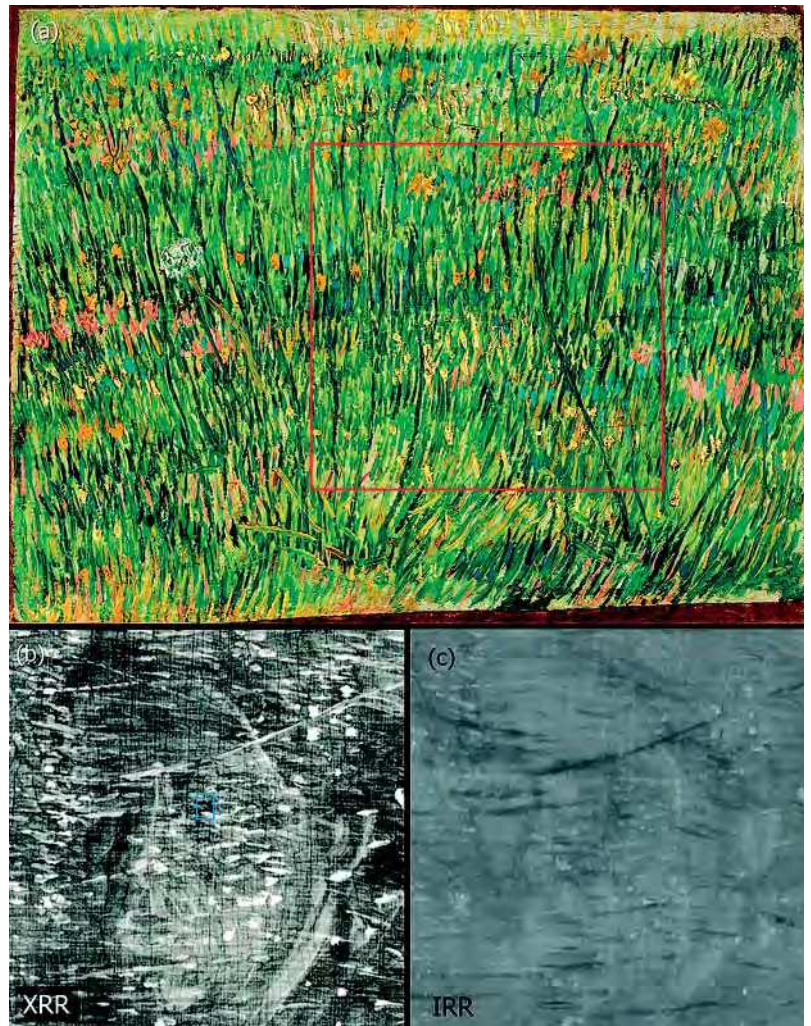
en akse vinkelret på belyningsretningen. På vejen igennem objektet absorberes strålerne mere eller mindre, afhængigt af den atomare sammensætning af materialet. Absorptionsgraden vokser med atomnummeret og med densiteten af materialet. Hullet i tanden kan således ses, fordi luften har en mindre densitet end tanden og derfor giver anledning til mindre skygge. Med kraftfulde matematiske algoritmer kan man herudfra danne et 3D-billede af prøven, som i dag kan have  $2.000 \times 2.000 \times 2.000$  punkter. I et sådant 3D-kort kan man se hundreder tusindevis af mindre objekter på én gang og lave en nøjagtig statistik på deres geometri, og hvordan de er placeret i forhold til hinanden.

Adgangen til synkrotronstråling har betydet et kvantespring for røntgentomografien. Tomografi med sædvanligt røntgenudstyr tager typisk en time. Med en synkrotron går det langt hurtigere, og de fleste processer kan følges live. Med total eksponeringstid på under 1/1.000 sekund har man fx visualiseret, hvordan en dieselstråle injiceres indeni en motor, og hvordan kemiske processer udbreder sig under en eksplosion.

Røntgenstrålingen fra en synkrotron kommer desuden fra et kildepunkt, der er meget lille og praktisk taget kun udsendes i én retning. Det betyder, at synkrotronstråling egner sig fremragende til alle former for mikroskopi. Grænsen for, hvad man kan måle i 3D, ændrer sig drastisk i disse år. En opløsning på 5 nm, ændrer sig dramatisk i disse år. En opløsning på 5 nm er rapporteret. Til sammenligning er den maksimale opløsning i et optisk mikroskop ca. 300 nm.

### Nye former for kontrast

Som nævnt giver standard-tomografi kun information om forskelle i densitet. Evnen til at adskille materialer med næsten samme densitet er imidlertid ikke særlig god, hvorfor man i den medicinske verden ofte indsprøjter tunge kontraststoffer som

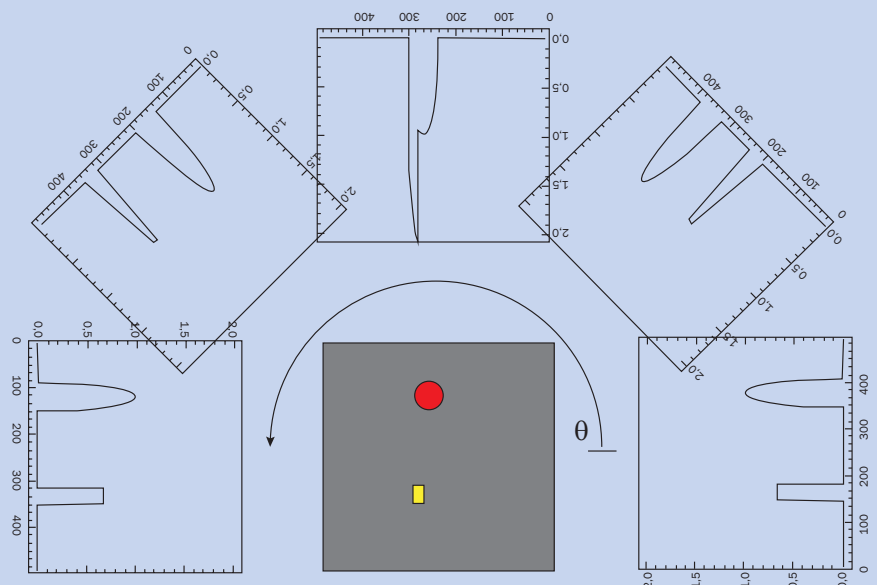


Maleren Vincent van Gogh genbrugte ofte sine lærreder og overmalede dermed tidligere malerier. Således dukkede der et portræt af en kvinde op under dette maleri af en blomstereng, da forskere undersøgte det med røntgenstråling. Den røde ramme på billedet viser placeringen af portrættet.

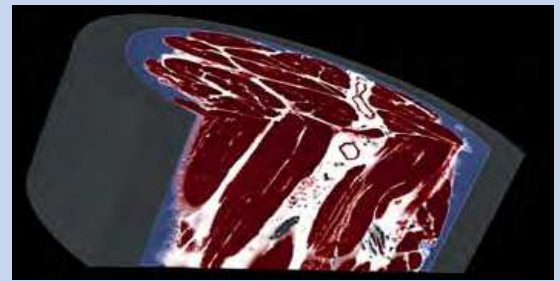
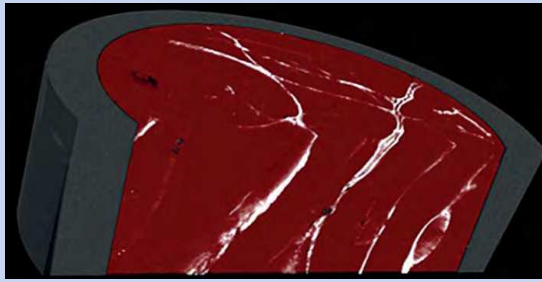
Gengivet med tilladelse. Joris dik et al: Anal. Chem., 80 (16), pp 6436–6442. Copyright 2008, American Chemical Society.

## Tomografisk rekonstruktion

Matematikeren Johan Radon opdagede i 1917 at man i teorien kan rekonstruere (beregne) et 3D kort af et objekt ud fra en række 2D-skyggebilleder, der er taget fra mange vinkler. Opdagelsen gik upåagtet hen, indtil Sir Godfrey Hounsfield og Allan Cormack lavede det første computerprogram, som i praksis kunne udføre beregningen. For dette fik de Nobelprisen i medicin i 1979. Vist er et 2D-objekt bestående af en firkant og en skive. Når vi sender Røntgenstråler igennem objektet, dannes en 1D-projektion af absorptionen. Projektionen ændres som funktion af vinklen theta ( $\theta$ ).



→ Et stykke oksekød målt med Røntgenfasekontrast. Billederne viser et snit gennem en 3D-rekonstruktion af oksekødet henholdsvis før (tv) og efter kogning (th). Farvelægningen er foretaget ved hjælp af en segmentering af rekonstruktionen. Bindevævet ses tydeligt i begge billeder, og kan ikke detekteres så tydeligt med sædvanlige Røntgenabsorptionsmålinger.



Et fasekontrastbillede af en  $2 \times 2 \mu\text{m}$  solcelle og et snit gennem 3D-rekonstruktionen. Til venstre ses en fasekontrast-projektion af en tandem-polymersolcelle, dvs. en "gen-nemlysning". Ud fra sådanne gennemlysninger fra mange forskellige vinkler kan man rekonstruere fordelingen af elek-

trontæthed i 3D. Til højre ses et snit gennem 3D-rekonstruktionen, som viser fordelingen af materiale og porøsitet i de forskellige lag i solcellen med en opløsning helt ned til 20 nm. Denne viden kan bruges til at finde fejl i solcellens opbygning og til at bestemme, hvordan den kan forbedres.

rod. Indsprøjtning er ikke så meningsfyldt for de fleste materialestudier, da der ikke er nogen blodårer. Men der er i de senere år udviklet nye former for røntgentomografi, hvor man langt bedre kan skelne mellem forskellige materialer indeni prøven og også kortlægge helt nye egenskaber.

Et eksempel er *fasekontrast*, hvor man udnytter, at røntgenstråling er elektromagnetiske bølger ligesom synligt lys og derfor brydes ligesom lys i et prisme. Måler man denne afbøjning, som for røntgenstråling er ganske lille, får man en direkte måling af elektrontætheden i et materiale. Densiteten kan dermed bestemmes med langt større nøjagtighed end med den sædvanlige måling baseret på absorption.

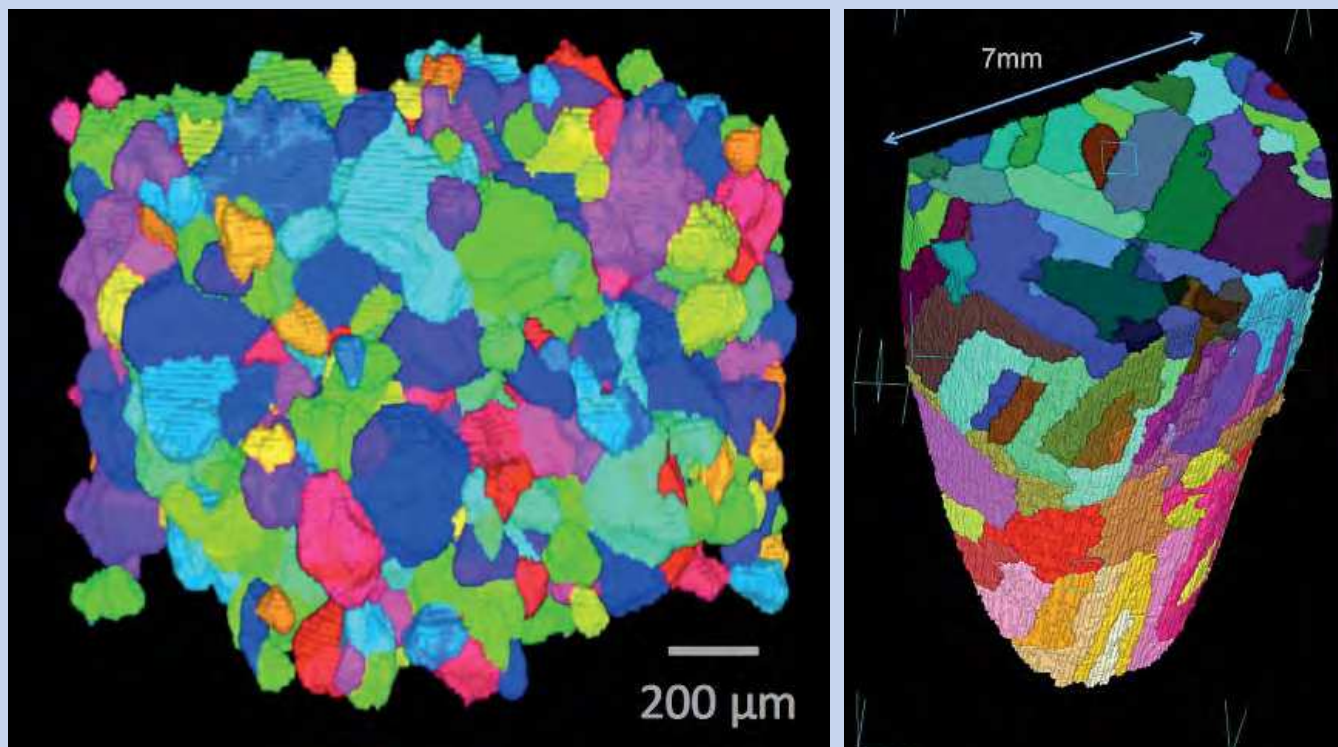
Et andet eksempel er *diffraktions- eller spredningskontrast*. I stedet for at se på absorptionen af røntgenstråler, optager man med denne teknik billeder af det diffrakterede eller spredte signal fra en prøve – dette indeholder en mængde krystallografisk og strukturel information. Ved hjælp af nye rekonstruktionsalgoritmer er det muligt at kombinere disse billeder til en 3D-kortlægning af mange andre egenskaber end densitet. Det kan være korn, domæner, fibre i fiberforstærkede materialer eller de lokale spændinger i materialet.

### Brug af fasekontrast

Fasekontrast er særdeles velegnet til biologiske prøver og har et stort potentiale til undersøgelser af fødevarer. I fødevarer er det ofte vanskeligt at adskille de enkelte dele ved almindelig røntgenabsorption, da forskellene i absorption er ganske små. Forskningen kan fx dreje sig om sammensætningen af fedtindholdet, om udviklingen af nye typer emulsioner til pølser, om detektering af fremmedlegemer eller om at undersøge, hvordan en fødevarer udvikler sig under frysning, fremstilling eller tilberedning. Sådanne målinger i 3D er vigtige, da man dermed ikke behøver at skære fødevarerne op for at følge med i, hvad der sker i det indre.

Et andet område, hvor vi bruger fasekontrast er til at studere solceller. Solceller, som trykkes på plastik i lange baner, er et af buddene på hvordan vi skal høste energi i en fremtid uden fossile brændsler. De er billige at fremstille, og med de rette blække til fremstilling af solcellerne er trykkeprocessen meget enkel. Men plastsolcellerne har også en række udfordringer, både i effektivitet og i holdbarhed, sammenlignet med konventionelle solceller. De problemer kan vi måske løse ved at undersøge og styre strukturen af solcellerne på nanometer-skala. Her viser især fasekontrast-røntgentomografi sin styrke, da vi med denne metode kan afbilde strukturer mindre end 20 nm, også i bløde materialer som plastik.





Til venstre et 3D-kort over korn indeni en aluminiumsprøve (med 1 vægt% magnesium), til højre et 3D-kort over magnetiske domæner i jern-silicium. Farverne viser, hvordan krystalgitteret i korn og domæner er orienteret i rummet. De er lavet ved brug af hhv. en synkrotron og en neutronkilde.

Venstre: Ikke publiceret (Krill, Gundlach og Schmidt).

Højre: Gengivet med tilladelse fra HZB/Manke, Grothausmann. Reference: Nature Communications (DOI: 10.1038/ncomms1125)

Med en nyudviklet metode til højopløst fasekontrast-røntgentomografi (såkaldt ptychografisk tomografi) kan vi nu afbilde hele solcellestrukturen i 3D, og vi håber snart at kunne undersøge strukturen i det fotoaktive lag med en opløsning, der er bedre end 5 nm.

### Studier af metaller

Metaller består ligesom mange andre materialer (herunder keramik, ben, sten, jord og is) af mange små krystaller kaldet korn. De fleste egenskaber af et metal, såsom dets styrke og evnen til at blive formet, afhænger kritisk af størrelsen og formen på disse korn samt af, hvilke korn der er naboer til hinanden. Med diffraktionskontrast kan vi for første gang direkte visualisere denne 3D-morfologi, og vi kan studere, hvordan nogle korn "spiser" andre, når man varmer på metallet, og hvordan helt nye korn opstår indeni gamle, når man deformerer det. Det er hermed blevet klart, at mange gængse teorier om metaller, som ikke inkluderer beskrivelsen af den lokale mikrostruktur, ikke er fyldestgørende, og nye målinger er essentielle for formuleringen af nye forbedrede modeller.

### Visualisering med neutroner

Der er stor forskel på, hvordan materialer vekselvirker med neutron- og røntgenstråling. Neutron-tomografi kan derfor med fordel benyttes til

at visualisere en lang række materialestrukturer i 3D indenfor fx biologi, geologi, arkæologi, industri- og energimaterialer. Alene neutronens kraftige spredning på brint gør den velegnet til at følge fx vandoptag i planter eller følge vandfordelingen i en brændselscelle. Da neutroner ifølge kvantemekanikken også er bølger, kan de brydes og spredes. Derfor er der i lighed med røntgenstråling også muligheder for at lave fase-, diffraktions- og spredningskontrast-målinger med neutroner. Disse nye teknikker forventes at få et stort gennembrud med European Spallation Source (ESS) i Lund. Neutroner er også følsomme overfor magnetfelter, så det er muligt at studere magnetiske domæner, fx i metallegeringer.

### Nye muligheder i Lund

Den danske beamlinje på MAX IV-synkrotronen, DANMAX, vil blive udstyret med et tomografi-instrument, der gør det muligt at bruge alle de nævnte kontrastmekanismer. Danske forskere er også stærkt involveret i udviklingen af dataanalysemetoder til 3D-instrumentet ODIN på ESS. Med de to instrumenter på de to førende kilder vil vi og mange andre danske forskere få helt nye muligheder for at gå på opdagelse i det indre af materialer på mange forskellige længdeskalaer og under realistiske prøveomgivelser. ■

### Videre læsning

Kak & Skaney. (2001) Principles of Computerized Tomographic Imaging. <http://www.slaney.org/pct/pct-toc.html>

Banhardt (2008). Advanced Tomographic Methods in Materials Research and Engineering. Oxford University Press

Grünzweig (et al.), Progress in Industrial Applications using Modern Neutron Imaging Techniques, Physics Procedia 43 (2013), 231 (Open access).

# En spids vinkel på sygdomme og medicin

Næsten al medicin virker ved, at et medicinsk molekyle vekselvirker med et molekyle i kroppen, der direkte eller indirekte er relateret til sygdommen. Med teknikken småvinkelspredning er det muligt at undersøge de vekselvirkende molekyler under naturlige betingelser, hvilket er vigtigt for at kunne udvikle ny medicin.

## Forfatterne



Grethe Vestergaard Jensen, postdoc  
Niels Bohr Institutet,  
Københavns Universitet  
gvjensen@nbi.ku.dk



Bente Vestergaard, lektor  
Institut for Lægemiddel-  
design og Farmakologi,  
Københavns Universitet  
bente.vestergaard  
@sund.ku.dk



Jan Skov Pedersen,  
professor  
Institut for Kemi,  
Aarhus Universitet  
jsp@chem.au.dk



Lise Arleth, professor  
Niels Bohr Institutet,  
Københavns Universitet  
arleth@nbi.ku.dk

Når man behandler sygdomme med medicin, er formålet at angribe sygdommen helt ned på molekylært niveau. Det kan fx ske ved at rette op på et underskud af et bestemt molekyle eller protein, som når insulin gives til diabetikere. Men også ved at skrue op eller ned for et velfungerende molekyles aktivitet. Andre sygdomme er relateret til, at bestemte molekyler i kroppen ikke opfører sig som tilsigtet. Det gælder fx for en lang række neurodegenerative sygdomme som Parkinsons og Alzheimers sygdom, som er associeret med ophobning af proteiner i hjernen.

Det aktive stof i medicinen kan både være et protein eller et lille molekyle som acetylsalicylsyre, der sammen med kodein er det aktive stof i kodimagnyler. Udover selve effekten af lægemidlet er distributionen i kroppen også en vigtig faktor for, hvor virksomt det er.

For at forstå både sygdommene og deres behandling er det vigtigt at kunne undersøge strukturen af de implicerede molekyler og proteiner ned på den mindste skala.

Teknikken krystallografi har været essentiel for den forståelse, man i dag har af proteiners struktur og funktion. Her kan den atomare struktur af et protein bestemmes ud fra diffraktionsmønstre af røntgen- eller neutronstråling. Det kræver dog, at proteinerne er krystalliserede – dvs. at de er place-

ret i et velordnet gitter, tæt omgivet af nabo-proteiner. Det er temmelig langt fra de fysiologiske betingelser, som proteinet befinder sig under i kroppen, hvor det udfører sin funktion. Det er derfor vigtigt også at få information om, hvordan proteinet og de andre relevante komponenter i en lægemiddelformulering opfører sig i opløsning ved den relevante temperatur og pH. Det kan man få med den teknik, der hedder småvinkelspredning. Småvinkelspredning giver strukturel information på længdeskalaen fra 1 til ca. 500 nanometer på alle typer af prøver. Teknikken har en lavere strukturel opløsning end krystallografi, dvs. man kan fx ikke zoome ind på positionen af de enkelte atomer. Den helt store fordel er dog, at man kan se, hvordan biologiske og medicinske molekyler vekselvirker og danner komplekser under de mere frie og realistiske rammer udenfor krystallerne. Det giver et mere repræsentativt billede af, hvordan disse processer foregår i kroppen og er en unik mulighed for at følge processer under udvikling.

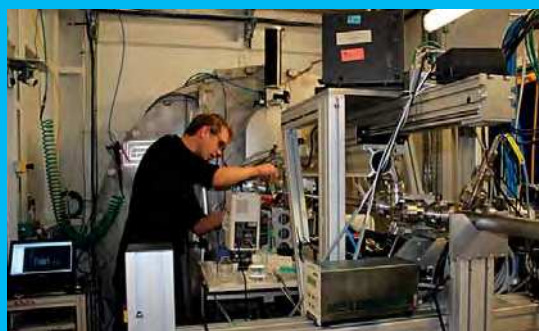
## Neurodegenerative sygdomme på nano-skala

Såkaldt neurodegenerative sygdomme som Parkinsons og Alzheimers er alvorlige sygdomme, der resulterer i mistet hjernefunktion. De er forbundet med dannelsen af meget lange fibre af protein (proteinfibriller), som består af tusindvis af proteinmolekyler i en ændret, inaktiv form. I den farmaceutiske industri er man meget interesseret i at undersøge tilsvarende fibriller for at kunne forebygge, at



## Småvinkelspredning: SAXS og SANS

I teknikken småvinkelspredning placeres en prøve i en Røntgenstråle (Small-Angle X-ray Scattering, SAXS) eller neutronstråle (Small-Angle Neutron Scattering, SANS). Typisk er prøverne opløsninger eller suspensioner af partikler som proteiner, emulsions-dråber eller polymerer. Hvert punkt i partiklerne spreder strålingen og bidrager dermed til det totale, observerede spredningsmønster. Spredningsmønsteret vil derfor afhænge af partiklernes størrelse og form, hvilket vil sige, at data indeholder information om nanostrukturen i prøven.

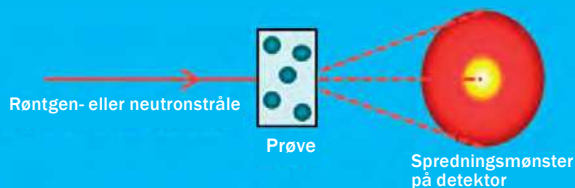


Det synkrotronbaserede SAXS-instrument på storskala-faciliteten ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) i Grenoble.

Data opsamles på storskala-faciliteter i stil med MAX IV og ESS, der er under opbygning i Lund. På nuværende tidspunkt kan data måles fx i Grenoble, hvor der både findes en røntgen- og en neutronkilde. Røntgenstråling kan også genereres på en lille laboratoriebaseret røntgenkilde, fx et røntgenrør. Derfor findes der også rigtigt gode laboratoriebaserede SAXS-instrumenter.



Det laboratoriebaserede SAXS instrument på Aarhus Universitet. Røntgenstrålen er indtegnet med gult og den prøve, der skal studeres, med blåt.



Principskitse for et småvinkelspredningsinstrument. Intensiteten af den stråling, der spredes fra prøven, detekteres ved små vinkler, typisk op til 5 grader. Afhængigt af instrumentet dækker SAXS og SANS størrelser fra ca 1 nanometer og op til 100 eller 500 nanometer.

Røntgenstråling spredes fra elektronerne i prøven, hvorimod neutronerne spredes fra atomkernerne. Det betyder, at SAXS og SANS er følsomme overfor forskellige komponenter i partiklerne, hvilket giver forskellige "kontrastforhold" og dermed komplementær information.

de dannes i protein- og peptidbaserede lægemidler under fremstillingen.

Det er vanskeligt at studere den strukturelle udvikling af fibrillerne, fordi der på ethvert tidspunkt i processen findes et væld af forskellige, sameksisterende former, og fordi den relative fordeling mellem disse former udvikler sig over tid. Småvinkelspredning har dog vist sig at være et meget velegnet værktøj til at få central information. SAXS-data er nemlig additive, hvilket betyder, at man ved grundig analyse af dataserier, der er samlet, mens udviklingen forløber, kan adskille spredningsmønstre for de enkelte former, der dannes i løbet af processen og dermed få detaljeret information om deres struktur. Med denne metode har vi bl.a. undersøgt fibrildannelsen af proteinet alpha-synuclein, som er relateret til Parkinsons sygdom. Metoden er stadig særdeles arbejdskrævende, men vi arbejder på et computerprogram, der kan automatisere analysen.

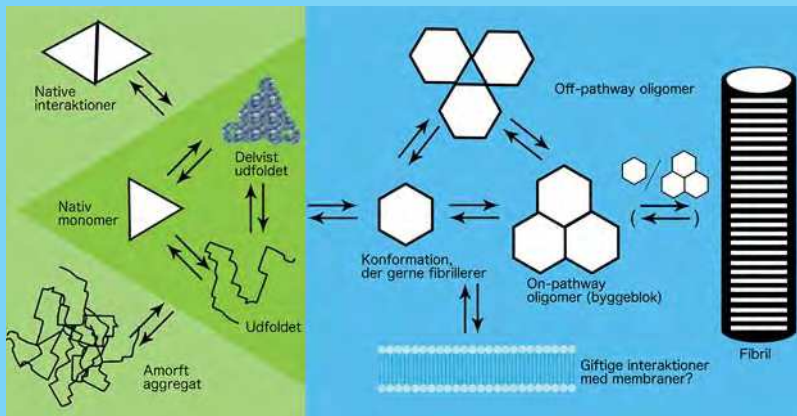
I vore studier har vi også vist, at lipid-modellsystemer, der imiterer cellevægge, destabiliseres og destrueres af de protein-former, der dannes tidligt

i forløbet. Vi har påvist, at der undervejs dannes et aggregat, der består af både protein og lipid. Det er måske en central del af forklaringen på den celledbrydning, der observeres i forbindelse med de neurodegenerative sygdomme. Med denne viden er vi ét skridt nærmere mod at forstå sygdommen på molekylær skala, hvilket er forudsætningen for at kunne behandle den målrettet.

### Insulin

For lidt over 100 år siden blev det opdaget, at sukkersyge hænger sammen med mangel på signalstoffet insulin, som er et lille protein. Hurtigt efter fandt man ud af, at patienter med sukkersyge meget effektivt kunne symptombehandles ved at injicere insulin oprenset fra fx hunde. Siden har bioteknologerne fundet ud af at fremstille insulin langt mere effektivt, præcist og dyrevenligt i genmodificerede gærorganismer. En stor ulempe ved behandling af sukkersyge med insulin er dog, at stoffet skal injiceres direkte under huden, for at dosen kan styres tilstrækkeligt præcist. Dette er til gene for de fleste patienter og medfører, at medicineringen ikke altid bliver tilstrækkeligt god. Derfor har forskere

## Den molekylære basis for neurodegenerative sygdomme



dette korrelerer med forkert foldning af de sygdomsspecifikke proteiner. Vi ved også, at tilstedeværelsen af disse misfoldede proteiner kan være giftigt for cellerne. Systemerne udvikler sig imidlertid på en meget kompleks måde, som det fremgår af figuren.

Proteiners native fold (hvid trekant øverst til venstre) er den 3D-struktur, der udgør den primære funktionelle tilstand. Men proteiner er dynamiske molekyler, som i brøkdelen af deres tid er delvist eller helt udfoldede, og den nativt funktionelle tilstand er en ligevægt mellem disse tilstande (illustreret i den mørkegrønne trekant). Proteinerne kan danne oligomerer med funktionel relevans, eller aggregere amorft (nede venstre hjørne). Imidlertid kan proteinet også antage en form, der har potentiale for at interagere systematisk og dermed danne de højt ordnede proteinfibriller (blå boks). Der findes flere forskellige intermediære oligomere former, hvoraf nogle kan være byggeblokke i fibrillen (on-pathway), og andre kan være midlertidige, stabiliserede former, som ikke fører direkte til fibrillens opbygning (off-pathway). Nogle af formerne er giftige og kan slå celler ihjel. Man regner med, at dette sker via kontakt til cellens membran, men man ved ikke hvilken intermediær form, der er præcist ansvarlig for dette, eller hvad der gør den giftig for celler.

Ved neurodegenerative sygdomme dannes proteinfibriller af et sygdomsspecifikt protein. I Parkinsons syge dannes fx såkaldte Lewy bodies, som indeholder store mængder fibrilleret alpha-synuclein. Der er dog ikke en simpel sammenhæng mellem tilstedeværelsen af fibriller og tabet af kognitive funktioner. Man ved, at nervecellerne langsomt dør, men man forstår endnu ikke den bagvedliggende molekylære mekanisme. Det er tydeligt, at forskellige faktorer som regulering af cellernes oxidative tilstand og deres normale signalering henover cellemembranen er stærkt forandret, og at

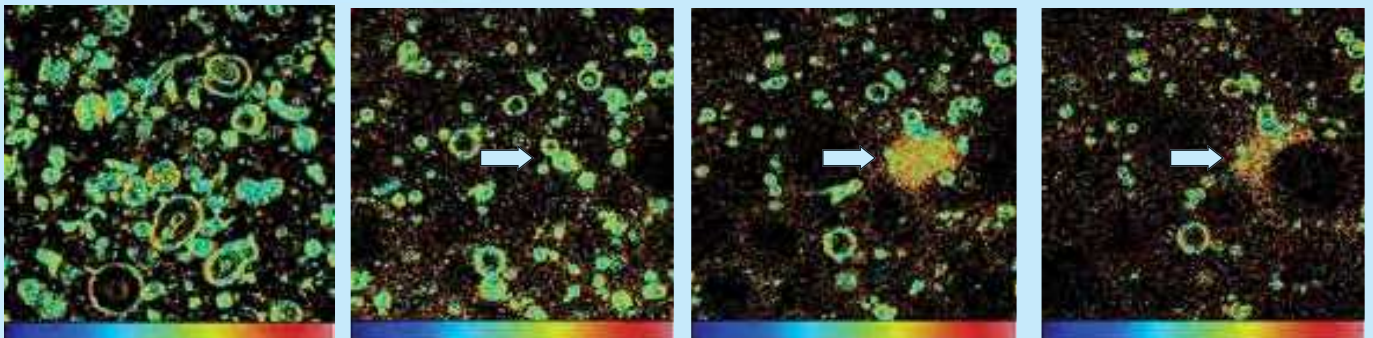
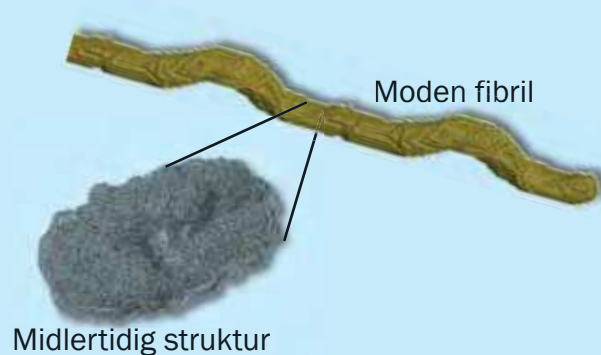
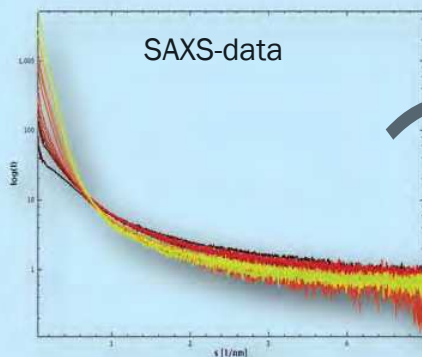


Illustration af sammenhængen mellem cellededbrydning og de tidlige aggregatformer i processen, hvor proteiner omdannes til fibriller i neurodegenerative sygdomme som Alzheimers. Baseret på GISAXS-data har vi kunnet beskrive både de strukturer, der dannes midlertidigt i løbet af processen og de modne fibriller. Fibrillerne består af mange tusinde proteiner. De grå strukturer (som dannes midlertidigt) har en diameter, der svarer til

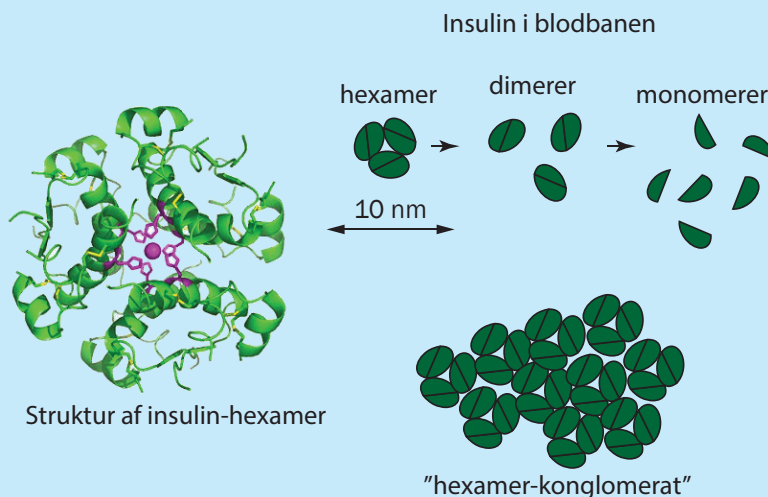
fibrillens diameter og er sandsynligvis byggesten i fibrillen. Når lipid-baserede vesikler (modelsystemer for cellerne) tilsættes enten de oprindelige, native proteiner eller de midlertidige former (grå partikler) kan man observere, at vesiklerne nedbrydes. Det fremgår af billederne nederst (optaget med 2-foton mikroskop). Pilen angiver et område, hvor vesikler først går i stykker og der derefter dannes aggregater af protein og lipid i baggrunden.



## Principper for proteinbaseret lægemiddelformulering

Insulin er godt eksempel på et proteinbaseret lægemiddel, og den formuleringsstrategi, man benytter til insulin, er i grove træk den samme, som benyttes til en lang række af andre proteinbaserede lægemidler. Proteiner, der indtages oralt, dvs. spises, vil hurtigt blive nedbrudt af fordøjelsessystemet til enkelte aminosyrer og miste deres relevans som medicin. Derfor skal de fleste proteinbaserede lægemidler injiceres direkte, enten i blodbanerne eller lige under huden. Grundlæggende gælder, at proteiner, der injiceres på monomer-form, dvs. som enkelte protein-molekyler, virker hurtigt, fordi monomeren næsten altid er den aktive form. Proteiner, der injiceres på oligomerform, dvs. små ansamlinger af monomerer, virker derimod langsomt, fordi de skal falde fra hinanden til monomerer, før de kan udføre deres funktion.

Figur: Når insulinen produceres i den raske krop lagres den midlertidigt i form af hexamerer koordineret omkring zinkatomer (pink kugle). Når insulinhexamererne kommer ud i blodbanerne, falder de fra hinanden, først til dimerer og siden til insulin-monomerer, som derefter kan binde til en insulinreceptor, der igen giver signal til cellerne om, at de skal optage glucose fra blodbanen. Moderne insulintyper udnytter dette samspil mellem lagring af inaktivt insulin på hexamerform og aktivt monomerisk insulin. Når man skal lave hurtigtvirkende insulin, overfladmodificerer man de enkelte insulinmolekyler, sådan



at de i højere grad er på monomer- eller dimer-form. Dermed virker de umiddelbart efter injektion. Omvendt fås langsomt-virkende insulin ved at stabilisere hexamererne og overfladmodificere disse, sådan at de samler sig i større konglomerater. Disse konglomerater af hexamerer skal så først falde fra hinanden til hexamerer, dernæst skal hexamererne falde fra hinanden til dimerer, som så til sidst falder fra hinanden til de aktive monomerer. Alt i alt giver dette en forsinket frigivelse af insulinen.

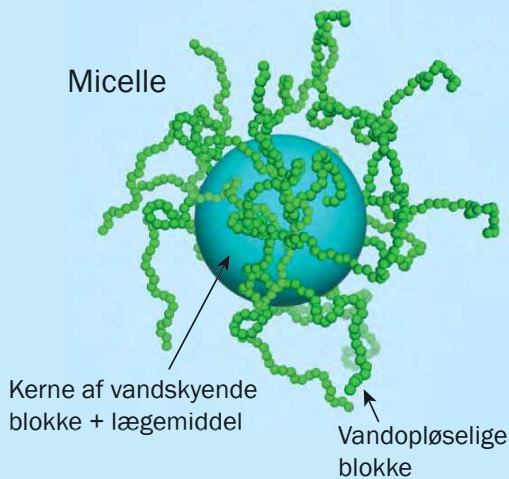
både på universiteterne og i medicinalvirksomhederne i mange år arbejdet på at gøre den injicerede insulin så langtidsvirkende som muligt ved at skabe bedre kontrol over insulinfrigivelsen. En af de vigtigste strategier er at etablere mikroskopiske depoter af insulin lige under huden på patienten. Herfra vil insulinen så frigives langsomt over lang tid. Dermed vil patienten ikke skulle injicere insulin alt for ofte, og insuliniveauet i patienten vil kunne holdes mere konstant.

Småvinkelspredning er i de seneste par år blevet en mere og mere hyppigt benyttet teknik til at få yderligere indsigt i disse mikroskopiske insulinstrukturer. Den helt store fordel ved småvinkelspredning er, at man let kan studere insulinmolekylerne under fysiologisk relevante betingelser. Bl.a. kan man undersøge, hvordan forskellige modifikationer af insulinens overflade påvirker mikrostrukturen af insulindepoterne og den måde hvorpå, insulinmolekylerne sidder sammen med hinanden. Vi ved nu, at en af de nyeste kommercielle insulintyper organiserer sig i lange tynde stave, som igen er dannet af enheder af hver seks insulinmonomerer. Med denne struktur er det mest oplagt, at den aktive insulin bliver frigivet fra enderne af stavene. Det er formentlig en vigtig del af forklaringen på, at insulinen frigives så langsomt fra denne formulering. Denne nyttige viden kan bruges som et springbræt

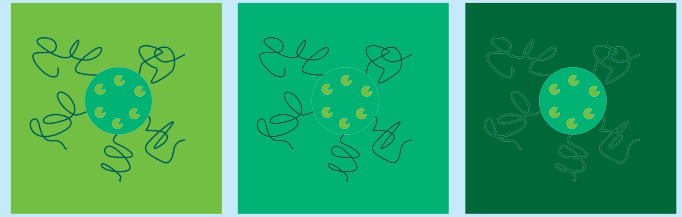
til at finde ud af, hvordan man yderligere kan kontrollere frigivelsen af insulin og dermed nedsætte generne samt øge livslængden og livskvaliteten for patienterne.

### Lægemiddelformuleringer

For at lægemidler kan virke, er det essentielt, at de kan optages i blodbanen. Det er en udfordring for de mange lægemidler, der ikke er opløselige i vand. Derfor er tabletter og kapsler bl.a. tilsat specielle polymerer, olier og overfladeaktive stoffer, der skal øge opløseligheden af lægemidlerne i vand. Når man blander lægemidlerne med disse stoffer, taler man om *lægemiddelformuleringer*. Polymererne vil typisk være sammensat af to blokke af forskellige polymerer, hvoraf den ene er vandopløselig, og den anden er vandskyende. Når polymeren er opløst i vand, samles den spontant i nanometer-store aggregater, der kaldes miceller. Heri danner den vandskyende blok en kerne, hvori lægemidlet kan opløses, og den vandopløselige blok omgiver kernen, og gør hele micellen vandopløselig. Indkapslingen af lægemidlet i kernen giver yderligere den fordel, at lægemidlet kan frigives gradvist og langsommere, så der opnås en konstant koncentration i blodet over længere tid. Polymer-micellerne er ofte så små, at de kan krydse blod-hjerne-barrieren, hvis vitale funktion er at forhindre skadelige stoffer og især bakterier og virus i at komme ind i hjernen. Micellerne



Figuren illustrerer en micelle fra en computersimulering, baseret på målinger med SAXS og SANS. Micellen består af lange polymer-molekyler, der igen består af to forskel-



lige blokke: En vandopløselig og en vandskyende blok. Ved at indkapsle et vandskyende lægemiddel på denne måde, kan det gøres opløseligt i blodstrømmen. Til højre ses kontrasterne for de forskellige komponenter i tre forskellige solventblandinger. Det svarer til et SANS-eksperiment, hvor de forskellige komponenter er "mærket" med deuterium ( $D_2O$ ) og undersøgt i forskellige blandinger af  $H_2O$  og  $D_2O$ . Denne "kontrastvariation" får de forskellige komponenter til hhv. at fremtræde tydeligt eller blive usynlige.

kan således bruges til at levere lægemidler til hjernen. For at dette kan gøres, skal man kende og kunne kontrollere micellernes størrelse og struktur. Til det formål er småvinkelspredning baseret på både røntgen- og neutronstråling en optimal teknik.

For nogle polymerer er dannelsen af kerne-skalstrukturen i micellerne ikke så tydelig, hvis prøverne studeres med småvinkel-røntgenspredning (SAXS). I dette tilfælde er småvinkel-neutronspredning (SANS) et fantastisk værktøj til at undersøge micellerne. Når vi bruger SANS, hvor neutronerne spredes fra atomkernerne i opløsningen, kan vi ved at "mærke" kun den ene af blokkene bestemme fordelingen af de to blokke i strukturen. Dette gøres ved at bruge en polymerblok, hvor hydrogen (H) er udskiftet med tungt hydrogen, deuterium (D), der foruden den sædvanlige proton også har en neutron i sin atomkerne. Når micellerne så opløses i almindeligt vand ( $H_2O$ ), kan neutronerne se den deutererede blok, mens vi ved at opløse den i tungt vand ( $D_2O$ ), vil se den blok, der ikke er deutereret ved hjælp af neutronerne. Man kan derefter gå skridtet videre og studere fordelingen af et lægemiddel ved delvist at mærke det med deuterium og så undersøge flere blandinger af  $H_2O$  og  $D_2O$ . Dermed får man "flere ligninger" til de "flere ubekendte", som man kan bruge til at bestemme, hvor de enkelte bestanddele er placeret i forhold til hinanden. Denne metode kaldes også for kontrastvariation, da synligheden af de enkelte komponenter varieres ved at variere  $H_2O/D_2O$ -indholdet i den opløsning, der udgør baggrunden.

Resultaterne for kernestørrelse, skaltykkelse og placering af lægemidlet forklarer, hvorfor nogle læge-

midler frigives langsomt (tyk skal og lægemidlet er fortrinsvist til stede dybt i kernen), mens andre lægemidler frigives hurtigt (tynd skal og lægemidlet sidder på overfladen af kernen). Denne indsigt kan bruges til at optimere lægemiddelformuleringen ved fx at ændre molekylemasse af de to polymerblokke eller typerne af polymerer, der anvendes for blokkene, så der kan opnås en given frigivelsesprofil, fx med konstant frigivelse over tid af lægemidlet, så koncentrationen i blodbanen holdes konstant.

### En efterspurgt teknik

Småvinkelspredningsmetoden er i løbet af de seneste ti år gået fra at være en halvveksotisk metode, der kun blev benyttet af specialister, til i højere og højere grad at være en metode, der benyttes af en bredere skare af forskere og udviklere til at få essentiel information om medicinske molekyler og sygdomsrelaterede molekylære strukturer. Metoden er en af de mest efterspurgte teknikker på de internationale neutronspretningsfaciliteter, og på røntgen-synkrotronerne har den været en stærkt voksende teknik de seneste ti år og er en central del af instrumentporteføljen på de fleste internationale faciliteter. Småvinkelspredning er dog stadig en relativt svært tilgængelig metode, fordi det kræver et stort analysearbejde at fortolke data, og den vil næppe lige med det første blive en fuldt automatiseret og bredt tilgængelig screeningmetode. Dog er der en lang række af situationer, hvor småvinkelspredning giver essentiel information, der vanskeligt kan fås på andre måder. Der arrangeres derfor store internationale kurser flere steder i verden med henblik på at uddanne flere unge forskere indenfor feltet. ■

Videre læsning  
Mere om småvinkelspredning:  
Læs også i dette nummer artiklen "Form og funktion på nanoskalaen" af Dorthe Posselt.



Fysiklærerdag

# om plasmafysik og fusionsenergi



Foto: Thorild Christensen

Kom til fysiklærerdag og hør foredrag, der gør dig klogere på plasmafysik og fusionsenergi - og ikke mindst den forskning inden for emnet, der foregår på DTU Fysik. Du får også mulighed for at komme i laboratoriet og teste nye øvelser udviklet til dig og dine elever.

**Tidspunkt: Torsdag den 8. oktober 2015.**

Læs mere, og tilmeld dig på

**[www.nanoteket.fysik.dtu.dk](http://www.nanoteket.fysik.dtu.dk)**

Fysiklærerdagen giver dig input til undervisningen. Det er gratis at deltage, men der er begrænset deltagerantal. Fysiklærerdagen foregår på DTU i Lyngby.



Foto: Mikal Schlosser  
DTU

# Form og funktion på nanoskala

Naturen er mester i at skræddersy systemer af selvorganiserende molekyler med de rette egenskaber til en given opgave. Med røntgen- og neutronspreddning kan vi studere både naturens komplekse strukturer og mere simple syntetiske systemer. Vi kan dermed lære, hvordan form og funktion hænger sammen, og hvordan sammenhængen kan fintunes.

**H**vordan opstår struktur og mønstre i naturen? Hvordan er funktion og "performance" knyttet til den underliggende struktur? Er det muligt at efterligne nogle af naturens byggeprojekter på en kontrolleret måde? Hvordan kan fysiske metoder være med til at belyse sådanne spørgsmål? Disse store spørgsmål inspirerer de forskningsprojekter, jeg arbejder med i det daglige, der handler om bløde materialers struktur og dynamik. Bløde materialer er alt det i vores omgivende verden, der er nemt at deformere og som ofte fremtræder som en mellemting mellem væske og fast stof – tandpasta, cremer, salatdressing, blod, cellemembraner mv. Jeg vil i denne artikel give to eksempler: et "syntetisk", hvor to lange molekyllæder er koblet sammen og et biologisk, der handler om det fotosyntetiske membran-system i grønne planter. Syntetiske molekyler kan skræddersys af en dygtig kemiker, og det er således til en vis grad muligt at designe systematiske undersøgelser af en samling veldefinerede molekyler, som beskrevet nedenfor. Biologiske systemer er mere komplekse og ukontrollable og udviser en høj grad af variation, der i særlig grad er med til at udfordre fysikkens værktøjskasse.

## Når strukturer laver sig selv

Selvorganisering betyder, at en samling af molekyler lokalt og spontant organiserer sig i en ordnet struktur – altså uden ydre styring af processen – systemet "syr" så at sige sig selv. I naturen er der tale om den ypperste form for skrædderkunst, Haute Couture: I mitokondrier og i grønkorn findes fx membran-systemer med et fascinerende design, hvor form og funktion går op i en højere enhed. Drivkraften bag selvorganisering er som oftest frustrerede molekyllære byggesten, som fx phospholipider, der danner grundstrukturen i en biologisk membran. Phospholipider er "frustrerede", fordi de er delt i to – en hovedgruppe, der er vandopløselig og en halegruppe, der

er fedtopløselig (man siger, de er amfifile). I vandig opløsning organiserer phospholipidmolekyler sig derfor i strukturer, hvor de vandskyende haler beskyttes mod vandfasen af de vandelskende hovedgrupper. Et eksempel er et phospholipid-dobbeltlag, der fungerer som grundstruktur i en cellemembran.

I nanoteknologi udnytter man frustrerede molekylers evne til at organisere sig selv i en struktur med en karakteristisk længdeskala på 10 – 100 nm. Kemikere skræddersyr molekyler med bestemte egenskaber og nøje udvalgte frustrationer, således at en samling af molekylerne selvorganiserer sig i strukturer, der kan bruges som udgangspunkt for fremstilling af fx nanoporøse membraner, støbning af nanoledninger eller til nanolitografi.

## Studier af selvorganiserende polymerfilm

Jeg arbejder med såkaldte diblok copolymerer, der er et eksempel på en selvorganiserende struktur. En polymer er sat sammen af mange ens grundenheder, monomerer, der er koblet i en lang kæde. Og en diblok copolymer består af to kemisk forskellige polymerkæder, der er sat sammen med en kemisk binding. De to halvdele frastøder hinanden, og hvis ikke de to kæder var koblet sammen, ville de danne helt adskilte faser. Ved at variere temperaturen, den samlede længde af polymerkæden og den indbyrdes længde af de to polymerkæder, kan diblok copolymerer danne mange forskellige strukturer.

I samarbejde med en gruppe fra Det Tekniske Universitet i München studerer jeg strukturen i tynde film af diblok copolymerer. Sådanne film laves ved at opløse diblok copolymerer i et organisk opløsningsmiddel og placere en dråbe på en tynd skive af fx silicium, der roteres med høj hastighed. Efterhånden som opløsningsmidlet slynges væk, belægges siliciumskiven med en tynd film af diblok copolymer. Med det rette

### Forfatteren

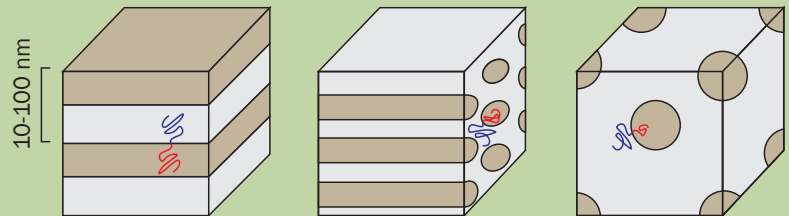
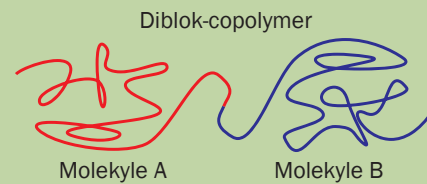


Dorthe Posselt, lektor i fysik, IMFUFA, Institut for Natur, Systemer og Modeller  
Roskilde Universitet  
Dorthe@RUC.dk

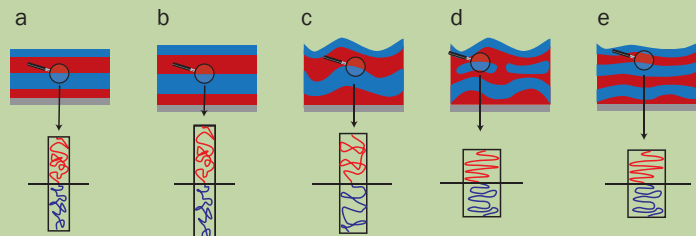


## Selvorganiserende polymerfilm

Som vist øverst på figuren består diblok copolymerer af to kemisk forskellige polymerkæder holdt sammen af en kemisk binding. Hvis ikke A og B var bundet sammen, ville de to slags molekyler danne helt adskilte faser. Ved at variere temperatur og længden af A- og B-kæderne kan sådanne diblok copolymerer danne mange forskellige strukturer. Hvis A er lige så lang som B, kan der dannes en lagdelt struktur med lameller (til venstre) og hvis A er mindre end B, kan der dannes stænger af A stablet på en velordnet måde og omgivet af B (midten). Endelig kan A danne kugler, der er placeret på et velordnet gitter og omgivet af B (yderst til højre). Den karakteristiske tykkelse af lameller, stænger og kugleradius er  $\sim 10\text{-}100\text{ nm}$ .



Et vigtigt resultat af vores eksperimenter er mekanismen illustreret nederst på figuren: Et organisk opløsningsmiddel på dampform (fx toluen) trænger ind i en diblok copolymer film af polystyren-polybutadien med en lagdelt struktur som vist på den midterste figur yderst til venstre. Ved hjælp af GISAXS kan der optages en "film" af processen, og på den måde har vi fundet ud af, at diblok copolymererne først bliver mere udstrakte, når de blandes med opløsningsmidlet, hvilket koster i entropi – systemet bliver mere ordnet. Dernæst ruller polymerkæderne sig sammen igen, hvorved de får et større tværsnitsareal, og lamellerne begynder således at "bule" op for at få plads til det øgede areal. En stak af lameller bryder derfor op og danner en stak med flere, men tyndere lag.

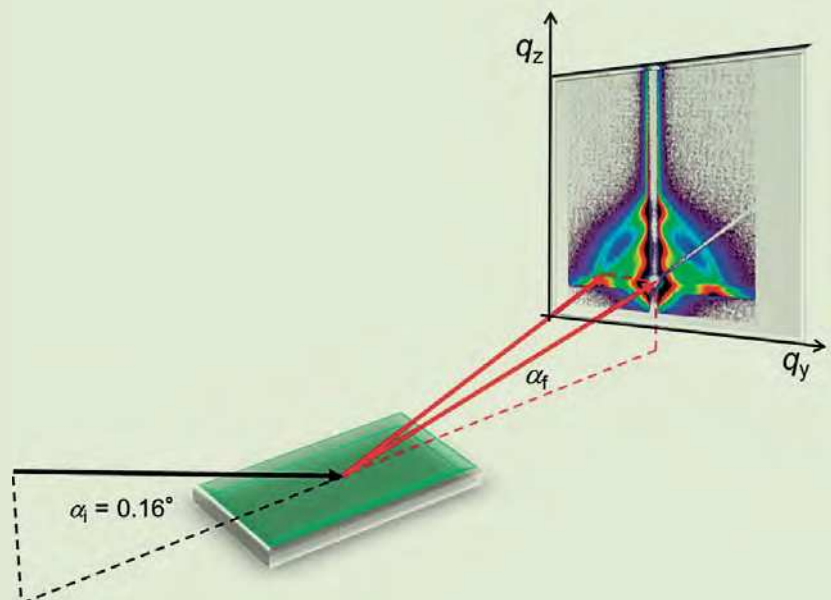


Efter Papadakis et al, 2008, Langmuir, vol.24, side 13815

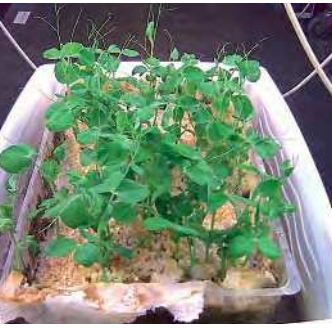
## GISAXS

I teknikken "røntgen-småvinkelspredning i refleksionsgeometri" (GISAXS) sendes røntgenstråler ind mod prøveoverfladen i en vinkel på omkring  $1/10^\circ$ . Ved at vælge den rigtige vinkel kan vi opnå, at røntgenstrålen trænger ned i vores diblok copolymer-film og bliver reflekteret fra den underliggende siliciumskives overflade, således at et stort prøvevolumen belyses, uden at røntgenstrålen dæmpes ved passage af siliciumskiven. På den måde kan vi få information både om en eventuel lagdeling i filmen og om strukturer parallelt med prøveoverfladen. Figuren viser et eksempel på et GISAXS-"map" fra en film med en lagdelt struktur, hvor lagene har alle mulige "skæve" orienteringer, hvilket ses som en halvcirkel af høj intensitet. Intensiteten er højest i røde områder og aftager med gul-grøn-blå. Hvis filmen er lagdelt, giver lag (lameller) parallelt med filmoverfladen anledning til intensitetsvariation langs  $q_z$ , mens lameller, der står vinkelret på overfladen, giver anledning til intensitetsvariation langs  $q_y$ . Mønstrene i et GISAXS-map er interferensmønstre, der opstår ved overlap af forskellige dele af den spredte røntgenbølge.

GISAXS er en videreudvikling af teknikken SAXS (røntgen småvinkelspredning), hvor røntgenstråler sendes vinkelret ind på prøven og den spredte stråling måles bag prøven



efter at have passeret gennem prøven. I stedet for røntgenstråling kan samme type måling udføres med neutroner – i så fald hedder teknikken SANS. I vores studier af thylakoidmembraner benyttes både SAXS og SANS, og prøven, der er en grøn "ærtesuppe", er under målingerne hældt i en beholder af glas.



Øverst ses ærteplanter, der er dyrket under kontrollerede forhold. Nederst ses en opkoncentreret prøve af thylakoid-membraner isoleret fra grønkorn i ærtebladene – når vi måler på "ærtesuppen", fortynder vi den først med vand.

#### Videre læsning

Peter Willendrup m.fl.: Tre tigerspring for materialeforskningen. *Aktuel Naturvidenskab* nr. 1/2015

Vigild, M. E. og Mortensen, K.: Neutroner og polymerer – Nanoteknologi. *Kvant*, maj 2007.

Jensen, G.V.; Vestergaard, B.; Pedersen, J.S. og Arleth, L.: En spids vinkel på sygdomme og medicin *Aktuel Naturvidenskab*, 2/2015.

Mere om fotosyntese Bibi Ziensen m.fl.: Drevet af lyset – fotosyntesen på arbejde. *Aktuel Naturvidenskab* 1/2013

design af diblok copolymeren og den rette efterbehandling kan man få en film med en struktur, hvor en samling af den ene slags molekyle i copolymeren danner lodret stående "stænger" omgivet af en samling af den anden slags molekyler. Ved at ætse stængerne væk kan filmen eksempelvis bruges som støbeform for tætliggende nano-ledninger, som laves ved at fylde de tomme huller op med et ledende materiale.

#### Perfektionering af film-strukturen

I vores studier er vi især interesserede i, hvorledes man kan kontrollere og perfektionere strukturen i filmen, og i, hvilke omorganiseringer-processer der finder sted, når filmen vekselvirker med organisk opløsningsmiddel på dampform. Til det formål benytter vi os af en røntgenspredningsteknik kaldet GISAXS (der står for Grazing Incidence Small-Angle X-ray Scattering), der giver information om nanoskala-struktur både langs med filmoverfladen og ned gennem filmen.

Vi studerer film med forskellige nanostrukturer, fx en film bestående af vandrette lag (lameller) af de to polymerhalvdele i diblok copolymeren på skift. Vi fylder prøvekammeret, hvori polymer-filmene er monteret, med organisk opløsningsmiddel på dampform. Opløsningsmidlet trænger ind i polymerfilmen, hvor det virker som "smøremiddel", der gør det muligt for molekylerne at flytte rundt og dermed omorganisere filmstrukturen. Vi kan med GISAXS optage en "film", der følger strukturomdannelsen i polymerfilmen, mens den sker. Billederne i filmen er ikke direkte billeder af molekylerne, men komplicerede mønstre, hvis fortolkning kræver en del modellering og regning.

Den viden, vi opnår, er interessant i sig selv: Hvordan kan en samling indfiltrede spaghetti-lignende molekyler vikle sig ud af hinanden og finde sammen i nye strukturer? Men det har også mere praktisk betydning for fremstillingen af diblok copolymerfilm uden defekter i strukturen og med en på forhånd veldefineret struktur. Vi kan således på forhånd bestemme, om fx stænger står op eller ligger ned i den færdige, tørre polymerfilm ved at behandle med damp på den rigtige måde.

#### Selvorganisering i naturen

Sammenlignet med de syntetiske film, vi arbejder med, er en biologisk cellemembran et eksempel på en meget mere kompliceret selvorganiserende struktur. Som nævnt består cellemembranen grundlæggende af et dobbeltlag af fosfolipider, og i denne struktur er der indlejret store proteinsystemer, som fx sørger for transport af ioner ind og ud af cellen. Konkret studerer vi thylakoid-membranen, som findes i grønkorn (kloroplast-organellerne) hos grønne planter. Thylakoid-membranen er hjemsted for alle de protein-komplekser, der er aktive i fotosyntesen, hvor absorption af sollys driver omdannelsen af kuldioxid og vand til sukkerstoffer. Sukkerstofferne binder kemisk energi, der kan bruges af planten til at drive andre biokemiske

processer. Ilt frigives til atmosfæren undervejs i fotosyntesen, og fotosyntese er således en af de mest fundamentale biokemiske processer overhovedet.

Selve thylakoid-membranen er foldet i en kompliceret tredimensionel struktur. Som i tilfældet med de lamel-dannende diblok copolymerer, er det centrale element en stak af "lameller", der dog er betydeligt mere kompliceret i dette tilfælde. Stakken består af fladtrykte "sække" (thylakoider) af membran, den såkaldte grana-stak, der er omvundet af stroma-lameller, der forbinder de enkelte sække i stakken og desuden forbinder nabo-stakke. Strukturen er derfor hierarkisk opbygget med flere karakteristiske længdeskalaer, der rækker fra størrelsen af et enkelt lipidmolekyle over størrelsen af et proteinkompleks og tykkelsen af en enkelt fladtrykt "sæk" i stakken til størrelsen af en hel stak, bestemt af antallet af lag i stakken. Denne organisering har en funktionel betydning i den komplicerede biokemi bag fotosyntesen. Bl.a. findes nogle proteiner kun i grana-stakken, mens andre fylder for meget til, at de kan sidde i de tætte lag og er i stedet lokaliseret i stroma-lamellerne.

#### Kobling af struktur og funktion

I samarbejde med en ungarsk forskningsgruppe undersøger jeg thylakoid-membranen med røntgen- og neutron-småvinkelspredning. Vi bestemmer den karakteristiske afstand i en grana-stak og imellem stroma-lamellerne, der for grana-stakken typisk er omkring 17 nm og for stroma-lamellerne omkring 30 nm. Da prøven er i vandig opløsning under betingelser svarende til de fysiologiske, kan vi med denne teknik studere dynamikken i thylakoid-membranstrukturen. Fx kan vi påvirke systemet ved at belyse det og følge, hvordan strukturen ændrer sig og tilpasses de nye betingelser. Det viser sig, at membransystemet skrumper, når vi belyser det med hvidt lys, og at systemet vender tilbage til sin oprindelige struktur, når lyset igen slukkes. Tidskonstanten for de observerede ændringer afhænger af intensiteten af det anvendte lys – for belysning skrumper systemet med en typisk tidskonstant på omkring 35 s, mens en hurtig (~ 2s) og en langsom proces (~100 s) er involveret, når lyset slukkes, og systemet vender tilbage til sin oprindelige struktur. Ved at gribe ind i den fotosyntetiske proces kan vi manipulere systemet og dermed koble struktur til funktion. Fx kan vi stimulere forskellige dele af elektron-transportprocessen i fotosyntesen ved at tilsætte forskellige elektron-acceptorer eller -donorer og iagttagende, hvordan dynamikken i systemet påvirkes ved belysning.

Fotosyntesen er en meget kompliceret proces med mange deltrin, og det er et område, hvor der forskes meget og med bidrag fra mange forskellige naturvidenskabelige discipliner. Den information, vi opnår med vores eksperimenter, giver en brik til det store puslespil, det er at forstå fotosyntesen – og eventuelt blive i stand til at lave kunstig fotosyntese, dvs.



## Thylakoidmembranens opbygning

I vores eksperiment bruger vi typisk friske ærte- eller spinatblade som udgangspunkt. De enkelte bladceller indeholder grønkorn (kloroplast), hvis grønne farve skyldes klorofyl. Indeni grønkornet er thylakoid-membranen foldet op i en kompliceret struktur med grana-stakke forbundet af stroma-lameller. De biokemiske elementer i fotosyntesen, fx protein-komplekserne fotosystem I og fotosystem II, er indlejret i og forbundet til thylakoid-membranen. En grana-stak består af en stabel af thylakoider, fladtrykte "sække" af membran, der adskiller et indre vandigt rum, lumen, fra et ydre vandigt rum, stroma. Både lumen og stroma er hver for sig ét sammenhængende rum. De enkelte grana-stakke er omvundet af stroma-lameller, der forbinder de enkelte thylakoid-sække i grana-stakken og desuden forbinder nabo grana-stakke.

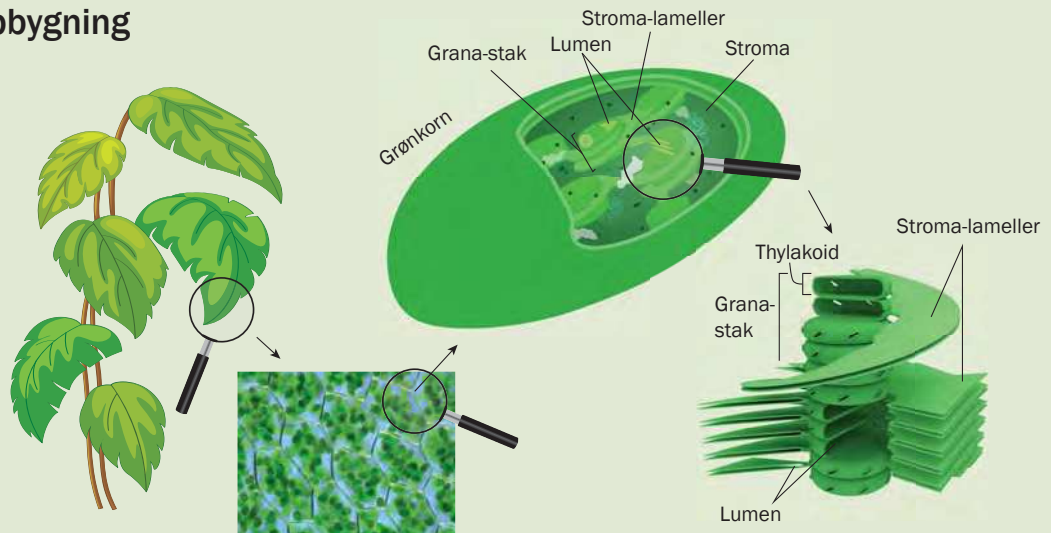
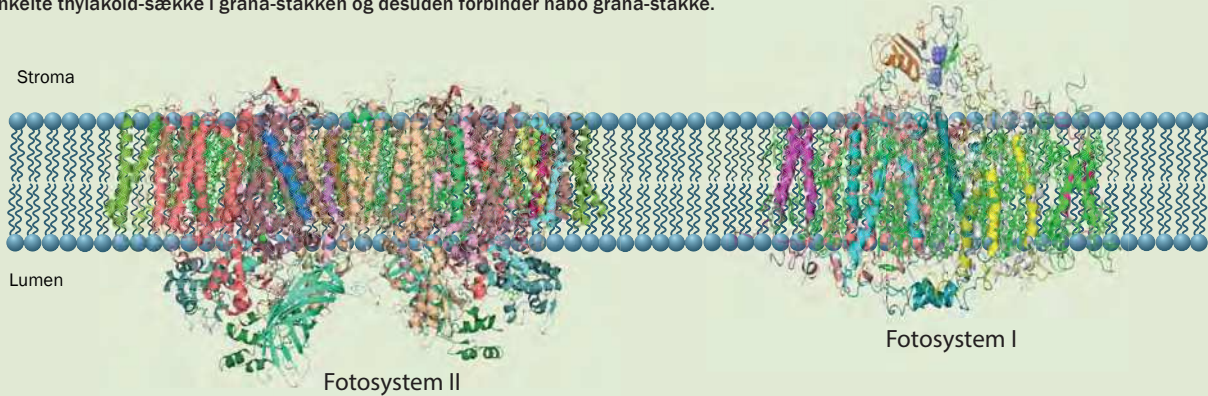


Illustration: Efter CC-BY-SA-3.0 via Wikimedia Commons



Figuren viser, hvordan to centrale proteinkomplekser i fotosyntesen (fotosystem I og fotosystem II) sidder placeret i thylakoid-membranens dobbeltlag af phospholipider. Et enkelt phospholipidmolekyle er angivet skematisk med en vandopløselig hovedgruppe og to vandskyende "haler". Hovedgrupperne skærmer dobbeltlagets vandskyende indre mod vandfasen udenfor membranen. På samme måde har proteinkomplekserne områder, der er vandopløselige og områder, der er vandskyende, hvorfor disse sidstnævnte er placeret indeni membranen. På figuren skelnes membranens

to sider – den ene side vender indad mod lumen og den anden udad mod stroma. Fotosystem II befinder sig i thylakoid-membranens grana-stakke, hvor thylakoiderne er stablet meget tæt. Dette kan lade sig gøre, fordi fotosystem II næsten ikke stikker ud til stromasiden, så de enkelte thylakoider kan komme tæt på hinanden. Fotosystem I fylder derimod til stromasiden og der er ikke plads i grana-stakken – i overensstemmelse hermed er fotosystem I placeret i stroma-lamellerne. Denne strukturelle adskillelse afspejles i den detaljerede biokemiske fotosynteseprocess.

opfange og lagre energien fra sollys i kemiske bindinger med en proces, der kan kontrolleres og effektiviseres i højere grad end dyrkning af planter. En stor fordel ved at bruge spredningsteknikker fremfor fx elektronmikroskopi, der ellers er en meget anvendt teknik i biologi, er, at vi ikke behøver at fikser og "farve" prøven med forstyrrende kemikalier. Da prøven ikke fikseres, kan vi undersøge dynamik, dvs. ændringer i tid, som ovenfor beskrevet.

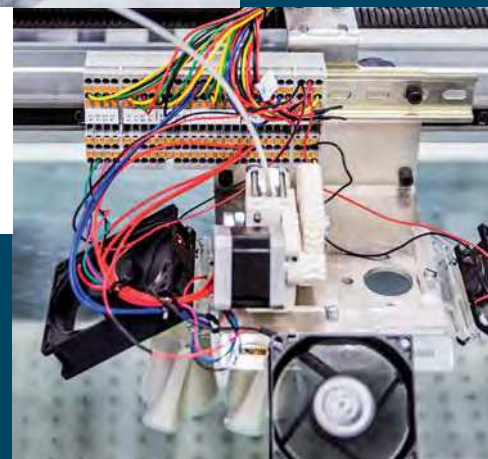
### Nye muligheder venter

Studiet af lipid-membraner med indlejrede proteinkomplekser kan også lære os noget mere generelt om, hvordan strukturer dannes i naturen. Et protein indlejret i et lipid-dobbeltlag er med til at drive selvorganiseringen af den foldede membranstruktur gen-

nem en tilpasning af form og vekselvirkninger. Det er muligt at lave en film af lipid-membran i mange lag på en tynd siliciumskive, og det er derfor også muligt at anvende GISAXS til at studere proteinorganiseringen i membranen. Hvor vi i eksemplet med diblok copolymer skelner områder af de forskellige diblok copolymer-halvdele fra hinanden, vil vi i det biologiske tilfælde kunne skelne områder, hvor lipid dominerer fra områder med protein. Den tilsvarende teknik med neutroner (GISANS) har et stort potentiale i denne sammenhæng, men rummer også mange udfordringer. Det vil derfor være et område, hvor den nye forskningsfacilitet European Spallation Source ved Lund vil være med til at åbne op for nye og spændende muligheder for at studere naturlige og syntetiske materialers Haute Couture. ■

# ONLINE

INGENIØR-  
UDDANNELSE



**Bliv i din hverdag,  
mens du læser til ingeniør.**



AARHUS UNIVERSITET

Læs mere på  
[bachelor.au.dk/elektronikingeniør](http://bachelor.au.dk/elektronikingeniør)



# Molekylære magnetiske materialer

## - studeret med neutroner

Vekselvirkninger mellem uparrede elektroner, der ikke er engageret i kemisk binding mellem atomer, giver molekyler magnetiske egenskaber. Enkelte molekyler kan derfor fungere som individuelle magneter, logiske enheder, kølere mv. Vekselvirkningerne, der bestemmer de magnetiske egenskaber, kan undersøges effektivt vha. neutronteknikker.

Når man lagrer data på sin harddisk, er der tale om magnetisk hukommelse. Vekselvirkninger mellem uparrede elektroner i atomerne i det materiale, harddisken består af, skaber små magnetfelter, der som små stangmagneter kan vendes i to forskellige retninger svarende til nuller og ettaller. Harddisken kan holde på informationen, fordi det kræver energi at vende retningen på de små magneters poler.

Tidligere anså man magnetisk hukommelse som et fænomen, der kun kunne observeres, når et meget stort antal uparrede elektroner vekselvirker i domæner i faste stoffer (som i en harddisk eller en køleskabsmagnet). Stærke vekselvirkninger mellem de uparrede elektroner gør, at de magnetiske momenter for et helt domæne skal vendes samtidigt for at ændre retningen på magnetens poler.

I begyndelsen af 1990'erne skete et paradigmeskift indenfor forståelsen af de magnetiske egenskaber af molekylære forbindelser: Man fandt, at nogle molekyler kunne opføre sig ligesom makroskopiske magneter og udvise magnetisk hukommelse. I modsætning til klassiske magneter, hvor vekselvirkning mellem elektroner i store domæner skaber barrieren for at ændre magnetiseringen, så er det på det molekylære plan indbyggede energibarrierer i molekylet, som gør ændringen af molekylets magnetisering til en langsom proces. Enkeltmolekyle-magneter er interessante, fordi de principielt repræsenterer den tætteste informationslagring, man kan forestille sig.

Der er dog store praktiske problemer forbundet med at anvende enkelte molekyler til magne-

tisk informationslagring. Dels er det vanskeligt at adressere de enkelte molekyler tilstrækkeligt hurtigt, og dels fungerer den magnetiske hukommelse af enkeltmolekyle-magneter stadig kun ved temperaturer, der er for lave til at være praktisk anvendelige.

Informationslagring er dog ikke den eneste potentielle anvendelse af enkeltmolekyle-magneter. Hvis man er i stand til at sammenknytte informationen indeholdt i de magnetiske tilstande for flere enkeltmolekyle-magneter og foretage operationer på disse kollektive tilstande, så har man konstrueret en såkaldt kvantecomputer. I denne sammenhæng er levetiderne af de magnetiserede tilstande, og dermed temperaturbegrænsningerne, mindre væsentlige. Derfor repræsenterer kvantecomputing nok det mest realistiske anvendelsesperspektiv for enkeltmolekyle-magnetisme.

### Hvad er en molekylær magnet?

En god molekylær magnet er indrettet sådan, at den har en lav energi, når dens magnetiske moment er ensrettet eller modsat rettet af et ydre magnetisk felt, mens den har en høj energi, når dets magnetiske moment er vinkelret på et ydre magnetfelt. Der ved opstår der en energibarriere for at vende magnetiseringen (magnetpolerne) for molekylet, hvilket er afgørende for at molekylet kan "holde på" sin magnetisering.

For at forstå og optimere egenskaberne af molekylære magnetiske materialer er det helt afgørende at kunne bestemme den energimæssige fordeling af

#### Forfatterne



Kasper Steen Pedersen, postdoc ved CRPP Bordeaux, tidligere ph.d.-studerende ved KU  
ksp@kiku.dk



Mikkel Agerbæk Sørensen, ph.d.-studerende, mikkel.agerbaek@chem.ku.dk



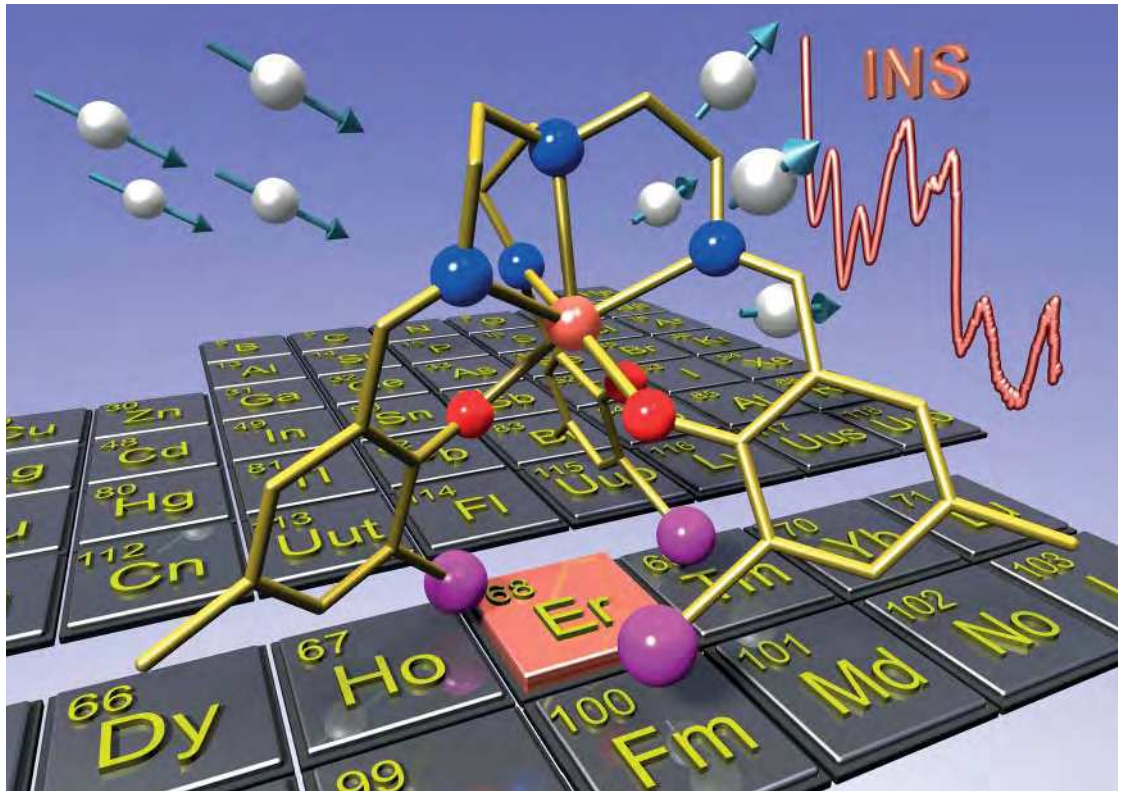
Högni Weihe, lektor  
weihe@kiku.dk



Jesper Bendix, professor, bendix@kiku.dk

Alle ved Kemisk Institut  
Københavns Universitet

En enkeltmolekyle-magnet, der kun indeholder et enkelt magnetisk center ( $\text{Er}^{3+}$ ; et af lanthanoid-grundstofferne) vekselvirker med neutroner og giver et informationsrigt spektrum (orange, til højre) som afslører hvordan omgivelserne har påvirket energiniveauerne på metalcenteret.



de lavtliggende tilstande, som bidrager til molekylets magnetiske egenskaber. Magnetiske vekselvirkninger foregår på en energiskala, som er meget velegnet til eksperimenter med såkaldt uelastisk neutronspredning. Med denne teknik er det muligt direkte at observere energiforskelle mellem tilstande, der fremkommer, når metalioner vekselvirker indbyrdes. Man får derved direkte bestemt styrken af vekselvirkningen mellem de magnetiske byggesten, der indgår. Desuden er neutronspektroskopi meget velegnet til at undersøge effekten af de umiddelbare omgivelser (det såkaldte ligandfelt) på energiniveauerne af de tunge grundstoffer, herunder de grundstoffer, der er beslægtede med uran (actinoiderne) og de sjældne jordarter (lanthanoiderne), som er nogle af de vigtigste grundstoffer for molekylære magnetiske materialer.

### Molekylære magneter med en enkelt metalion

Den simpleste molekylære magnet, man kan forestille sig, har et enkelt metalcenter og helst med mange uparrede elektroner. Lanthanoiderne (cerium-lutetium) tilhører de såkaldt sjældne jordarter og udgør den ene halvdel af det periodiske systems f-blok, som omfatter grundstoffer med delvist fyldte f-orbitaler. Fra resten af det periodiske system kender vi s-orbitaler (kommer i sæt af én), p-orbitaler (kommer i sæt af tre), og måske endda d-orbitaler (som fyldes i midten af det periodiske system og som kommer i sæt af fem). f-orbitalerne er der derimod syv af, og grundstofferne i denne del af det periodiske system overgår derfor alle andre

grundstoffer ved at kunne have helt op til syv uparrede elektroner på et enkelt atom. Derudover vekselvirker elektronernes spin for tunge atomer stærkt med det magnetiske moment, der opstår, når elektronen cirkulerer omkring atomkernen. Det gør de magnetiske egenskaber meget følsomme overfor metalcenterets omgivelser. Gennem kemisk syntese kan man kontrollere lanthanoidionens omgivelser og dermed de magnetiske egenskaber.

Et eksempel på et sådan system er molekylet  $\text{Er}(\text{trensal})$ , hvor en erbiumion ( $\text{Er}^{3+}$ ) er bundet til et organisk molekyle gennem fire nitrogenatomer og tre oxygenatomer, som definerer den magnetiske ions nærmeste omgivelser. Til at bestemme fordelingen af de energiniveauer, der giver de magnetiske egenskaber er neutronspektroskopi ideel, og ved hjælp af denne teknik er fordelingen af de lavestliggende energiniveauer i  $\text{Er}(\text{trensal})$  blevet observeret direkte.

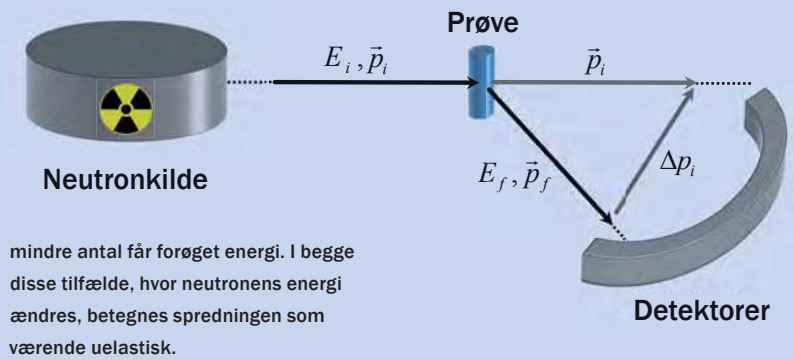
Det er muligt kemisk at manipulere det organiske molekyle, der binder til  $\text{Er}^{3+}$ -ionen. På den måde kan vi fremstille systemer med små strukturelle forskelle til den oprindelige  $\text{Er}(\text{trensal})$ -forbindelse og undersøge, hvor stor en effekt disse små modifikationer af  $\text{Er}^{3+}$ -ionens omgivelser har på de magnetiske egenskaber. Direkte målinger af forbindelsernes magnetiske moment viser, at kemiske ændringer omkring metalionen nogle gange kun ændrer de magnetiske egenskaber ganske lidt. Men neutronspektroskopi viser, at dette kan dække over, at ligandfeltet og dermed splitningen mellem energi-



## Energiniveauer målt med uelastisk neutronspreddning

I et uelastisk neutronspreddningseksperiment spredtes neutroner med en veldefineret energi i en prøve. Efterfølgende måles ændringerne i energi,  $E_i - E_f$ , og impulsvektorer,  $\Delta\vec{p} = \vec{p}_i - \vec{p}_f$ , ( $\vec{p} = m_N\vec{v}$ , hvor  $m_N$  er neutronens masse og  $\vec{v}$  hastigheden af neutronen) for neutronerne, som er opstået ved vekselvirkningen med prøven.

En langt overvejende del af de anvendte neutroner vil forlade prøven med samme energi, som de ankom med (elastisk spredning), mens et mindre antal af neutroner får ændret deres impuls og samtidigt formindsket energi og et endnu



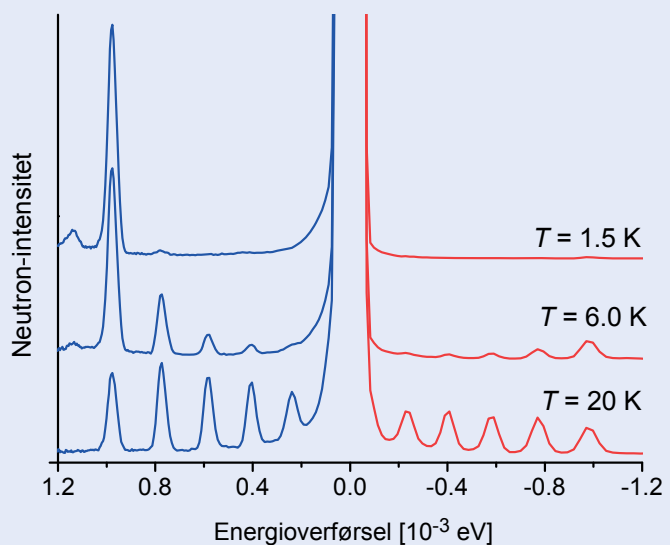
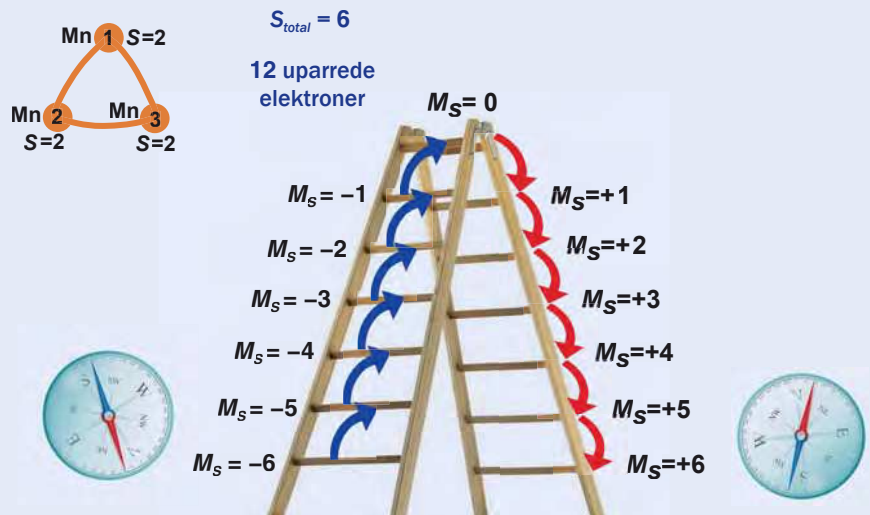
mindre antal får forøget energi. I begge disse tilfælde, hvor neutronens energi ændres, betegnes spredningen som værende uelastisk.

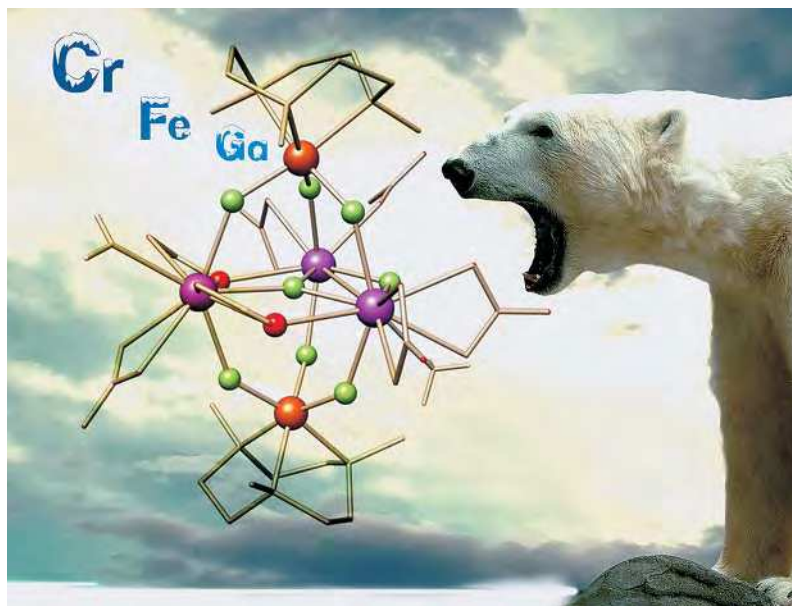
## Bestemmelse af magnetiske barrierer

En enkelt elektron er karakteriseret ved et spinkvantetal  $s = \frac{1}{2}$  og et tilhørende, proportionalt magnetisk moment. Der er kun to mulige orienteringer ( $m_s = \pm\frac{1}{2}$ ) af elektronens magnetiske moment i et magnetfelt, groft sagt svarende til at elektronens magnetfelt kan pege med eller mod det ydre magnetfelt. Disse to tilstande vil for den enkelte elektron have samme energi i fravær af et ydre magnetfelt, men det er ikke nødvendigvis tilfældet, når flere elektroner vekselvirker og genererer et større totalspin. For molekyler med flere uparrede elektroner ( $S > \frac{1}{2}$ ) vil der være mange orienteringer af deres magnetiseringsretning ( $M_s = -S, -S+1, -S+2, \dots, +S$ ) i forhold til et ydre magnetfelt.

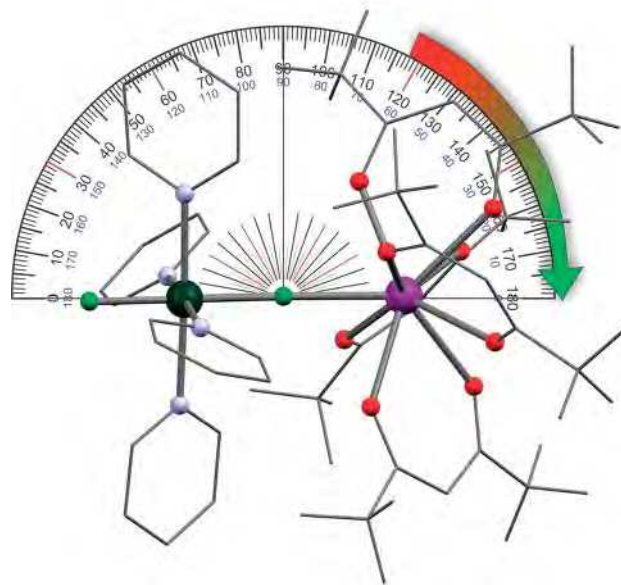
Den gode molekylære magnet er indrettet således, at den har en lav energi når dens magnetiske moment er ensrettet eller modsat rettet af et ydre magnetisk felt, svarende til lave energier for tilstandene  $M_s = -S$  og  $M_s = +S$ , mens den har en høj energi, når dens magnetiske moment er vinkelret,  $M_s = 0$ , på et ydre magnetfelt. Derved opstår der en energibarriere for at vende magnetiseringen (magnetpolerne) for molekylet, hvilket er en nødvendighed for at molekylet kan blive til en molekylær magnet. Hvis molekylet i sin grundtilstand har mange uparrede elektroner, fx ved at elektroner på flere indgående metalcentre indretter deres spin og dermed deres magnetiske momenter parallelt, kan molekylet ende med et meget stort magnetisk moment, som vil have mange mulige orienteringer i forhold til et magnetfelt. Eksempelvis vil 12 parallelt koblede elektroner give anledning til et totalspin på  $12 \times \frac{1}{2} = 6$ , og en sådan gruppe af tilstande vil svare til 13 mulige orienteringer i forhold til et magnetfelt.

Det er illustreret i figuren øverst for et molekyle indeholdende tre  $Mn^{3+}$ -ioner, hver med fire uparrede elektroner, som vekselvirker og giver et totalspin på  $S = 6$ . Nedenunder er vist, hvordan neutronspektroskopi giver et fuldstændigt billede af fordelingen af energiniveauerne og dermed også af den energibarriere, der skal overvindes for at bringe molekylet fra at have det magnetiske moment i én retning ( $M_s = -6$ ) til den modsatte ( $M_s = +6$ ) – man skal "over trappestigen".





En effektiv molekylær køler bestående af tre  $Gd^{3+}$ -ioner (lilla) og to  $Cr^{3+}$ -ioner (orange). Højre: Et tokernet modelkompleks, der viser den lineære  $Gd^{3+}-F^{-}-Cr^{3+}$ -binding. Når bindingen bøjes falder vekselvirkningen mellem  $Gd^{3+}$  og  $Cr^{3+}$  og forsvinder helt ved overgangen mellem den røde og grønne farve, omkring  $140^\circ$ .



niveauerne i de samme systemer kan være fuldstændigt forskellige. Mange veje kan med andre ord føre til Rom. Denne forståelse er afgørende for rationelt at kunne designe nye molekylære magneter baseret på lanthanoiderne.

### Molekylære magneter med flere metalioner

Der er andre måder at opnå molekyler med mange uparrede elektroner på end ved at anvende forbindelser af lanthanoiderne. Man kan i stedet binde flere metalcentre med uparrede elektroner sammen i et molekyle. Denne strategi til at opnå enkeltmolekyle-magneter er faktisk den ældste, og det var opdagelsen af en 12-kernet manganforbindelse, der opførte sig som en enkeltmolekyle-magnet, som for ca. 20 år siden gav startskuddet til forskningsområdet. Siden har man fundet ud af, at et højt antal metalatomer ikke nødvendigvis giver de bedste magnetiske egenskaber. Nogle af de bedste kendte enkeltmolekyle-magneter i dag består af molekyler med kun tre eller seks mangancentre arrangeret optimalt.

#### Videre læsning

K. S. Pedersen et al.: Fluoride-Bridged  $\{Gd^{III}_3-M^{III}_2\}$  ( $M = Cr, Fe, Ga$ ) Molecular Refrigerants. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2014, 53, 2394–2397.

S. K. Singh et al: Angular dependence of the exchange interaction in fluoride-bridged  $Gd^{III}-Cr^{III}$  complexes. *Chem. Commun.* 2013, 49, 5583–5585.

K. S. Pedersen et al: Modifying the properties of 4f single-ion magnets by peripheral ligand functionalization. *Chem. Sci.* 2014, 5, 1650–1660.

Ved at overveje, hvordan de uparrede elektroner på metalcentrene vekselvirker, kan man finde ud af, hvad molekylets samlede arrangement af elektronspin bliver. Hvis man så samtidig kan bestemme, hvordan de forskellige tilstande (orienteringer af molekylets magnetiske moment) fordeler sig energimæssigt, kan man forudsige, om der er tale om et molekyle, der kan "huske" sin magnetisering – eller om det er "glemsomme" molekyler. For at opnå den magnetiske hukommelse skal molekylet have en energibarriere for at vende sit magnetiske moment, og de nævnte trekernede manganforbindelser har nogle af de højeste kendte energibarrierer for at vende molekylets magnetisering.

### Magnetisk køling

For nogle anvendelser er det ønskeligt at kunne pakke molekylære magneter så tæt som muligt, uden at de individuelle systemer vekselvirker stærkt indbyrdes. Det er bl.a. tilfældet, hvis man vil udnytte et magnetfelt til at skabe orden (lav temperatur) ud af uorden (høj temperatur) ved at ensrette magnetiseringen af en samling af molekyler. Når magnetiske molekyler udsættes for et magnetfelt, vil de enkelte elektroners spin rette sig ind efter det ydre magnetfelt. Når feltet derefter fjernes, vil det magnetiske materiale suge energi fra omgivelserne, dvs. dets krystalgitter. Energien omdannes derved fra varmeenergi i form af vibrationer af krystalgitteret til uorden i molekylernes magnetisering. Derved køles materialet, og man kan udnytte den såkaldte magnetokaloriske effekt til at lave molekylære køleskabe. Størrelsen af denne køleeffekt afhænger af flere faktorer. En af de vigtigste er vekselvirkningen mellem metalcentrene i den molekylære køler. Vi har de seneste år arbejdet med molekylære klyngeforbindelser, der indeholder både metalioner fra d-blokken midt i det periodiske system (overgangsmetaller) og metalioner fra f-blokken (lanthanoider) bundet sammen af fluoridioner ( $F^{-}$ ). Her har vi opdaget nogle nye meget effektive magnetiske kølere, bl.a. en ret kompliceret femkernet forbindelse med tre gadolinium-centre og to chrom-centre. Forbindelsens komplicerede opbygning gør det vanskeligt at forstå egenskaberne ved at undersøge denne køler alene. Derfor fremstillede vi et simpelt tokernet modelsystem og undersøgte det vha. neutronspektroskopi. Ved at studere, hvordan styrken af den svage  $Gd^{3+}-Cr^{3+}$ -vekselvirkning afhænger af bindingsvinklen omkring den brodannende fluoridion, kunne vi forstå, hvorfor det mere komplicerede molekylære køleskab var en meget nær optimal struktur. ■



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

# HJÆLP TIL DIT STUDIERETNINGS- PROJEKT?

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

**DU KAN FÅ HJÆLP TIL EMNER SOM:**

## **FYSIK**

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

## **KEMI/BIOTEKNOLOGI**

METALLISKE NANOPARTIKLER  
MICELLER  
PEPTIDSYNTESE  
ENZYMKINETIK



**AALBORG UNIVERSITET**



# Algoritmer regner på krypterede data

I takt med at samfundet bliver digitaliseret, registreres flere og flere fortrolige personoplysninger. Det udgør en trussel imod vores privatliv. Ny avanceret kryptografi kan beskytte os, uden at vi skal give afkald på fordelene ved indsamling af data.

Forestil dig en verden, hvor oplysninger om DNA bliver indsamlet rutinemæssigt i forbindelse med fødsler og hospitalsindlæggelse. Selv om dit DNA behandles fortroligt, slipper det ud som følge af en IT-skandale og ender på internettet. Nogle år senere lykkes det forskere at udvikle en metode, der ud fra DNA kan forudsige, hvor stor sandsynlighed en person har for at udvikle sukkersyge eller svær depression.

Hvordan vil du have det, hvis det viser sig, at du har høj risiko for at udvikle en medfødt svær depression? Forestil dig, hvilken betydning det kan have, hvis du ønsker at købe en sundhedsforsikring, søge job eller finde en kæreste.

Det er en hypotetisk situation, men den nuværende udvikling peger i retning af, at det kan blive virkelighed. Forskerne bliver hele tiden bedre til at forstå vores gener, og indsamling af DNA sker allerede i dag. Samtidig viser adskillige eksempler os, at følsomme data kan havne i de forkerte hænder på trods af beskyttende lovgivning og IT-sikkerhedsforanstaltninger.

Problemet med indsamling af DNA illustrerer et generelt dilemma. I takt med udviklingen indsamles stadig større mængder af data, eksempelvis fra forskningsforsøg, færden på nettet og smartphones.

Vi tænker ofte ikke over det, og i mange tilfælde er der tale om følsomme data. På den ene side er vi interesserede i de fordele, indsamlingen giver os. På den anden side udgør indsamlingen af data en trussel mod vores privatliv.

## At regne på krypterede data

Fordelen ved indsamling af datamængder skyldes ofte, at man kan *regne* på de indsamlede data. Tænk på Google, hvis forretning består i at lave beregninger ud fra enorme mængder indsamlede data, der tillader dem at målrette reklamer. Et andet eksempel er forskningsdatabaser, hvor man samler store mængder af information om borgernes sundhed. Her ligger værdien i, at forskerne kan regne på de indsamlede data, fx udregne statistikker.

Man kan til en vis grad sikre sig imod misbrug og beskytte borgernes privatliv via lovgivning. Aktuelt er EU på vej med en forordning, der strammer reglerne for, hvordan man behandler og opbevarer persondata. Hvis den bliver gennemført, vil virksomheder, der har rod i personfølsomme data, kunne straffes med op til fem procent af deres omsætning, dog maksimalt 100 millioner euro.

Lovgivning kan dog aldrig stå alene. Erfaringen viser, at der altid vil kunne ske læk som følge af IT-skandaler og kriminalitet.

Forfattere



Thomas P. Jakobsen,  
ph.d. studerende  
Datalogisk Institut,  
Aarhus Universitet  
tpj@cs.au.dk



Sebastian Cappelen,  
journalist på Alexandra  
Institutet  
sebastian.cappelen@  
alexandra.dk



Kryptering kan give et ekstra niveau af sikkerhed. Hvis data krypteres, før de indsamles, så kun krypterede data opbevares, vil privatlivet være sikret, også selvom virksomheden bliver hacket. Men når først data er krypteret, kan man ikke længere regne på data, og selve idéen med indsamlingen går derfor tabt.

Men der findes en løsning, der tillader, at man kan regne på krypterede data. Teknologien hedder *secure multiparty computation* (MPC). Pointen er, at man kan regne på data fra forskellige parter på en måde, så data altid forbliver hemmelige, men kun resultatet bliver kendt.

### Fra tung teori til praktisk anvendelse

De første MPC-teknikker stammer fra midten af 1980'erne. I 1987 kom et gennembrud, hvor det lykkedes forskere at vise, at alle beregninger i princippet kan udføres som MPC. Det viste teknologiens potentiale, men de første resultater var meget upraktiske. Teknologien er siden optimeret, og den MPC, vi kender i dag, er meget mere praktisk anvendelig.

En anden milepæl for teknologien blev nået i 2009. Her blev MPC for første gang anvendt i stor skala i en kommerciel sammenhæng. Det var den såkaldte sukkerroe-børs, et projekt, der udsprang af et samarbejde mellem Aarhus Universitet, Alexandra Institutet, daværende Danisco og de danske sukkerroe-producenter. Man var på udkig efter at introducere en elektronisk børs, hvor landmænd kunne købe eller sælge sukkerroe-kvoter. Men landmændene og Danisco kunne ikke enes om, hvem der skulle administrere børsen, da landmændenes bud indeholder fortrolige oplysninger.

Løsningen var at introducere en børs baseret på MPC, hvor landmændene kunne sende deres bud

ind, uden at andre kunne dekryptere dem. Børsen var med til at sikre et optimalt marked, hvor udbud bedst muligt møder efterspørgsel, uden at fortrolige informationer bliver afsløret. I første kørsel indgik ca. 1200 fortrolige bud, og børsen har været aktiv lige siden.

### Teknologi med potentiale

Secure multiparty computation er et redskab, der er relevant i alle situationer, hvor man ønsker at udføre en beregning på fortrolige data, og hvor der ikke er nogen oplagt udenforstående part, som alle deltagere stoler på, der kan indsamle de fortrolige data og udføre beregningen.

Sukkerroe-børsen var med til at kickstarte virksomheders interesse for MPC. Flere virksomheder, bl.a. Microsoft, IBM, SAP og danske Partisia arbejder i dag målrettet med MPC.

Partisia samarbejder bl.a. med Aarhus Universitet og Alexandra Institutet i projektet PRACTICE om at lave en prototype, kaldet Secure Survey. Det handler om at gøre elektroniske spørgeskemaer fortrolige og kan fx anvendes, hvis en virksomhed vil vide, hvor tilfredse medarbejderne er med chefen. Den enkelte medarbejders oplysninger forbliver krypteret, samtidig med at man kan offentliggøre, hvor mange der er utilfredse.

I COBE-projektet (Confidential Benchmarking) handler det om, at alle banker er interesseret i at lave en kreditvurdering af deres kunder. Bankerne har hver deres metode til at beregne kreditværdigheden af en bankkunde. Vurderingen ville dog blive meget bedre, hvis også andre bankers kundedata kunne indgå, men hver banks kundedata er fortrolige. Med MPC vil bankerne kunne forbedre deres kreditvurderinger uden at afsløre fortrolige kundedata.

## Anonymisering er ikke nok

Det er ikke kun ved hackerangreb, at data utilsigtet ender i offentligheden. I nogle tilfælde har man forsøgt at sikre fortrolighed ved at anonymisere indsamlede data, fx ved at fjerne åbenlyse markører som navne og CPR-numre. Det er eksempelvis ofte tilfældet ved medicinske databaser, der frigives til forskning. Ofte har deltagerne i et forskningsforsøg kun ønsket at deltage under forudsætning af, at data anonymiseres.

Eksempler fra USA viser, at anonymisering alene kan være en tvivlsom løsning. I 2008 viste dr. David W. Craig, der er genetiker ved forskningsinstitutionen TGEN i Phoenix, hvordan man kan identificere en person ved at matche en prøve af personens DNA op imod indholdet af en anonymiseret forsk-

ningsdatabase. Opgaven burde være umulig og svarer til at lede efter en nål i en høstak.

Efterfølgende har Yaniv Erlich fra Whitehead Institute for Biomedical Research i Massachusetts vist, hvordan det er muligt at identificere personer, hvis DNA indgår i forskning, ved at krydsreferere den anonymiserede DNA med data, der er offentlig tilgængelige, alene via en internetopkobling.

Tilfældene har været øjenåbnere i USA. Forsøgspersoner, der deler deres DNA, risikerer tab af ikke bare deres eget privatliv, men også af deres børns og børnebørns, som vil arve mange af de samme gener, siger Mark B. Gerstein, professor ved Yale, der studerer genetiske databaser.



## Fra teori til virkelighed

Det var et teoretisk gennembrud i 1980'erne, der gjorde det muligt at udføre vilkårligt avancerede beregninger på fortrolige data. De første resultater var upraktiske, men gav dog andre forskere blod på tanden. I dag arbejder adskillige forskningsgrupper bl.a. i USA, Israel, England og Danmark på at gøre teknikken mere effektiv.

Eksemplerne nedenfor giver et indtryk af, hvad man kan med moderne MPC. De varierende udførselstider skyldes bl.a., at MPC-teknikkerne har forskellig grad af sikkerhed. Som det ses, er det endnu ikke alle slags beregninger, der effektivt kan udføres med MPC, men med den hastige udvikling, forventer man at være meget længere om blot få år.

AES er en moderne krypteringsalgoritme. Med en nøgle  $k$  og en besked  $m$  beregnes en krypteret besked som  $c = \text{AES}(k, m)$ . Når AES beregnes via MPC betyder det, at man kan få krypteret beskeder, hvor kun den ene part kender beskeden og kun den anden part kender nøglen. Det har mange anvendelser, og AES bruges derfor ofte som benchmark i forbindelse med MPC. En besked, fx et tal mellem 0 og  $2^{128}$ , kan via MPC krypteres på ca. 0,5 sekund.

Fællesmængde (*private set intersection*) er en anden nyttig MPC-funktion. Kan fx bruges af to organisationer, der hver har et fortroligt register over personer. De vil kunne identifi-



Andrew Yao betragtes som grundlæggeren af den disciplin inden for kryptografi, der kaldes secure multiparty computation.

cere personer, der optræder i begge registre, uden at nogen af dem behøver afsløre for den anden, hvem der ellers findes i registeret. I en lempelig sikkerhedsmodel er det muligt at beregne fællesmængden af to mængder med hver ca. 300.000 CPR-numre på 14 sekunder.

Levenshtein-distance (edit distance)  $L(a,b)$  for to tekststrengene  $a$  og  $b$  er det minimale antal simple operationer (insert, delete, modify), der skal til for at komme fra  $a$  til  $b$ . Kan bl.a. bruges til at sammenligne to DNA-sekvenser uden at kende sekvenserne. For et alfabet med 4 bogstaver og  $a$  og  $b$  på hver 200 tegn kan  $L(a,b)$  beregnes via MPC på 16 sekunder.

### Yderligere læsning

Du kan finde ekstramateriale med et simpelt eksempel på, hvordan Secure Multiparty Computation fungerer.: [aktuelnaturvidenskab.dk/nyeste-numre/2-2015/](http://aktuelnaturvidenskab.dk/nyeste-numre/2-2015/)

En aktuel konkurrence med henblik på at finde de mest effektive teknikker til genetisk analyse uden at lække information: [www.humangenomeprivacy.org](http://www.humangenomeprivacy.org)

Beskrivelse af den danske auktion for sukkerroevoter: <http://eprint.iacr.org/2008/068>

Confidential Benchmarking (COBE) projektet: [http://ifro.ku.dk/english/research/centres/msap/research/research\\_projects/cobe/](http://ifro.ku.dk/english/research/centres/msap/research/research_projects/cobe/)

Practice projektet: <http://practice-project.eu>

### Mange anvendelsesmuligheder

Teknologien kan også bruges indenfor mange andre områder:

- Man kunne beregne det gennemsnitlige antal patientdødsfald som følge af lægefejl pr. hospital i Danmark, uden at et enkelt hospital er tvunget til at løfte sløret for antallet af sine fejlbehandlinger.
- Man vil kunne lave en elektronisk afstemning, hvor de fortrolige input er stemmer og resultatet af beregningen viser, hvem der har fået flest stemmer, uden risiko for at de enkelte stemmer bliver kendt.
- To konkurrerende forskerteams vil kunne afgøre, om de er nået frem til det samme forskningsresultat, fx en ny kemisk formel, uden at afsløre deres formler til hinanden eller andre.
- Man vil kunne matche forskellige personers DNA eller trække specifikke egenskaber ud af DNA, uden at nogen behøver at afsløre sit DNA.
- Man vil kunne undgå kollisioner mellem fjendtlige satellitter, droner, eller militærfly, da en potentiel kollision vil kunne detekteres, uden at nogen behøver at afsløre sin position eller kurs.

- Man vil kunne lave en fortrolig dating-side, hvor man ikke afslører sine præferencer, men alligevel vil kunne blive matchet med en partner med samme præferencer.

### Behov for at kontrollere data

I takt med at vores liv bliver mere digitalt, bliver secure multiparty computation stadig mere aktuel. Med fænomener som big data og cloud computing opstår der et behov for en mere fin-kornet kontrol med, hvilke data der er fortrolige, og hvilke der er offentlige. Grundlæggende handler det om at holde fast i vores privatliv og fortrolighed uden at give afkald på fordelene ved big data, bl.a. de muligheder, der ligger inden for DNA-forskning og andre sundhedsområder.

Der er kort sagt et kæmpe potentiale i teknologien, og man kan forvente, at MPC inden for de næste 20 år vil være med til at skabe en revolution. Situationen svarer på mange måder til 1970'erne, hvor man opdagede public-key kryptering. I starten havde det mest teoretisk interesse, men i dag bliver public-key kryptering brugt mange steder i vores dagligdag, bl.a. til at sikre hjemmesider og til NemID. ■



# Når forandringens vinde blæser



Teknologi opstår i slipvinden fra samfundsmæssige forandringer. Men teknologi er samtidig med til at forme vores muligheder for at skabe forandring fremover. Teknologihistorie er et godt udgangspunkt for at forstå samspillet mellem teknologi, samfund og historiske forandringer.

Foto: Colourbox

“Når forandringens vinde blæser, bygger nogle læhegn, mens andre bygger vindmøller.”

Tænk, hvis det velkendte ordsprog af kinesisk oprindelse blev skrevet af en person med interesse for, hvordan ny teknologi opstår. Selvom det ikke står helt klart, hvad denne kineser egentlig mente med “forandringens vinde”, er betydningen klar nok: Mange nye teknologier – hvad enten det er læhegn eller vindmøller – bliver opfundet og udviklet på baggrund af oplevede behov, ikke som følge af udviklingen af ny viden. Når nogle vælger at bygge læhegn, er det for at beskytte sig mod forandringens vinde. De, der bygger vindmøller, åbner muligheden for at udnytte forandringerne på en fremadrettet facon.

Vi kan endvidere forestille os, at den omtalte kineser med interesse for teknologiske forandringsprocesser ikke bare ville vise, hvor vigtigt det er at træffe de rigtige teknologiske valg i en given situation – altså vindmøller fremfor læhegn. Vedkommende var måske også ude på at understrege vigtigheden af en historisk forståelse af sammenhængen mellem forandringens vinde og ny teknologi. For at forstå forandringens vinde kan det være en fordel at have viden om, hvor forandringsvindene blæser fra. Og for at vide, hvad der gælder som henholdsvis læhegn

og vindmøller i de aktuelle samfundsforandringer, er det vigtigt at have forståelse for de historiske valg, som andre har truffet, når de har befundet sig i et tilsvarende forandringsblæsevej.

I denne artikel giver vi et par historiske bud på, hvordan forandringens vinde i løbet af det 20. århundrede har haft betydning for udvikling af energiteknologi – specielt vindmøller og atomkraft – i Danmark. Vi bruger historien til at vise, hvordan teknologiudviklingen har været præget af forandringens vinde. Vi ønsker dog også at give vores forestillede kineser et modsvar, der kunne formuleres således: “Når nogle bygger læhegn, og andre vindmøller, indvirker det på, hvordan forandringens vinde vil blæse fremover.”

## Udfordringen fra industrialisering

Et blik på den elektricitetsproducerende vindmølles historie giver et godt billede af, hvornår og hvordan forandringens vinde for alvor har blæst henover Danmark. Men det er også en historie om, hvordan vindmølleopfindere og -ingeniører ofte har arbejdet i modvind – altså, en historie om, at det at bygge vindmøller til tider er blevet opfattet som en bagstræberisk reaktion på forandringens vinde, altså som læhegn.

↑ Forskere, ingeniører, teknikere og andre har gennem mere end 120 år satset på udvikling af vindmølleteknologi som svar på “forandringens vinde”.

### Om forfatterne



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



Henry Nielsen, lektor emeritus henry.nielsen@css.au.dk

Begge ved Center for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet



#### Videre læsning

Artiklen bygger på bogen *Forandringens vinde: Nye teknologihistorier* (Praxis/Nyt Teknisk Forlag, 2015) af Henry Nielsen, Kristian Hvidtfelt Nielsen, Keld Nielsen og Hans Siggaard Jensen. I bogen bruger vi en stribe eksempler fra teknologiens nyere historie til at undersøge vekselvirkningen mellem teknologi, samfund og historisk forandring.

*Skruen uden ende: Den vestlige teknologiske historie* (3. udgave, Nyt Teknisk Forlag, 2005).

De første danske eksperimenter med at bruge vindkraft til fremstilling af elektricitet stod opfinderen og højskolemanden Poul la Cour for. Det var i slutningen af 1800-tallet, hvor mindre elforsyningsnet var vokset frem i de større byer som led i en tiltagende industrialiserings- og urbaniseringsproces. Mange mennesker søgte fra landområderne mod byerne, hvor der var mere og bedre betalt arbejde at få. De store erhvervmæssige og demografiske forandringer fik la Cour til at bygge vindmøller.

La Cour var ligesom andre klar over de store muligheder, der lå i udnyttelse af elektricitet til mange forskellige formål, og ydermere en stor optimist på vindkraftens vegne. Han boede selv på landet, og han forestillede sig, at udbredelsen af lokale elektricitetsværker baseret på en kombination af vindmøller og elektricitetsgeneratorer ville være med til at vende udviklingen, altså at få folk til at blive på landet og styrke det lokale håndværk og de små produktionsenheder. Han oprettede en forsøgsstation kaldet Forsøgsmøllen med penge fra staten – verdens første statsstøttede forskningscenter inden for vindenergi!

La Cours vindenergiforskning gav gode resultater, der kunne bruges til at bygge vindmøller og oven i købet vandt international opmærksomhed. La Cour var i det hele taget en vigtig person for den decentrale elektrificering af landområderne, som betød, at danske landsbyer og virksomheder på landet fik elektricitet hurtigere end i andre lande. På en måde gik la Cour imod de forandringens vinde, der pegede i retning af centrale forsyningsnet og koncentration af arbejdskraft og produktionsmidler i byerne. Det forandringspotentiale, som la Cour ønskede at fremme, lå andetsteds.

#### Vindkraftens Don Quixote

Efter anden verdenskrig var der stadig interesse for elektricitetsproducerende vindmøller, men mange – især mange elværksfolk – så vindkraften som en forældet teknologi. Fremtiden var kul- og oliefyrede kraftværker i et centraliseret forsyningsystem, på lidt længere sigt atomkraft. Men ingeniør Johannes Juul ansat ved Sydøstsjællandse Elektricitets Aktie Selskab (SEAS) ville det anderledes. Han havde som ung mand fulgt Poul la Cours kursus for landelektrikere og videreførte nu la Cours vision for vindkraft som grundlag for social og teknologisk forandring.

Juul fremlagde i 1947 beregninger, der viste, at en udbygning af vindkraft i dansk elforsyning ville være en sund økonomisk investering for elværkerne. Vindkraft ville ydermere være til fordel for nationaløkonomien i form af danske arbejdspladser og eksport, og vindkraft ville sikre forsyningsikkerheden i et land, der ikke har kul eller olie, men masser af vind.

Juul talte for døde øren i en tid, hvor prisen på fossile brændstoffer var faldende, og troen på atomenergi høj. Tiden var præget af teknologioptimisme og begyndende økonomisk vækst. Der skulle for alvor sættes gang i dansk industri, og det var svært at se, hvordan vindmøller passede ind i den forandringsproces.

I juli 1957 blev Juuls største forsøgsmølle, Gedsermøllen, indviet. Robert Henriksen, formanden for Danske Elværkers Forening (DEF), der uden større entusiasme havde støttet Juuls arbejde, spekulerede ved samme lejlighed, om ikke Gedsermøllen var en moderne Don Quixote, der ville bekæmpe atomkraften, lige som den spanske ridder havde kæmpet mod vindmøller i Miguel Cervantes roman fra begyndelsen af 1600-tallet. Set i det lys var vindmøller en fortidens fantasi, dvs. læhegn.

#### Forandringens vinde betyder atomkraft – eller ikke

Samme Robert Henriksen havde været en varm fortaler for oprettelsen af Atomenergikommissionen i 1955 og støttet byggeriet af kommissionens store og kostbare forsøgsanlæg ved Risø. Risø-anlægget skulle virke til "fremme af atomenergiens fredelige udnyttelse til samfundets gavn", som det hed i formålsparagraffen. Det blev indviet den 6. juni 1958, men fik aldrig den planlagte betydning for det danske samfund.

Ved Risø arbejdede en lille, men hastigt voksende flok af reaktoringeniører på at udvikle en særlig dansk atomreaktor. Det havde de gode grunde til, men det var slet ikke, hvad elværkerne ønskede. Elværksfolk som Robert Henriksen frygtede, at de kunne blive tvunget til at investere i Risø-reaktoren. DEF ville selv have lov at bestemme, hvornår og hvordan de ville introducere atomkraft i den danske elforsyning, men med de lave priser på kul og olie hastede det ikke.

I 1963 kom det til et opgør mellem Risø og elværkerne. DEF annoncerede, at man ikke længere kunne bakke op om den forskning og udvikling, der fandt sted ved Risø, men derimod ønskede at købe et stort og afprøvet atomkraftværk i udlandet, når det engang blev økonomisk rentabelt. DEF's udmelding rev med ét slag tæppet væk under Risøs reaktortechnologiske arbejde og indledte fem års krig mellem DEF og Risø. Først i 1967 blev der truffet en diskret aftale mellem de to institutioner. Den gik ud på, at de danske elværkers suverænt måtte bestemme, hvornår Danmark skulle have atomkraft. Til gengæld skulle Risø fungere som regulerende myndighed og kontrollere kommende atomkraftværker.

I 1972-73 mente elværkerne, at tiden nu endelig var moden til at bygge atomkraftværker i Danmark. Men det var den ikke. Da regeringen i januar 1974 var klar med de forslag, der skulle udgøre den nødvendige lovgivningsmæssige basis for byggeriet, blæste det i løbet af kort tid op til en folkelig



proteststorm, der kuldsejlede elværkernes og Risø atomplaner. I august 1976 valgte regeringen at udskyde den nødvendige lovgivning om atomkraft på ubestemt tid, og ni år senere besluttede et flertal i Folketinget at tage atomkraft helt ud af fremtidige danske energiplaner. Til gengæld blæste der igen mildere vinde for danske vindmøller.

### Energikriserne vender vinden

Udviklingen af vindkraft i Danmark var reelt gået i stå med indvielsen af Gedsermøllen i 1957 og frem til begyndelsen af 1970'erne, da den første oliekrise fik folk på andre tanker. Mange forskellige mennesker og organisationer begyndte netop da at undersøge mulighederne for at bruge vindkraft som alternativ energikilde. Det var en ny tids Don Quixoter, der som Johannes Juul forfulgte deres idealer om at få vedvarende energi, selvforsyning og dansk nationaløkonomi til at gå op i en højere enhed.

Den ny interesse for vindkraft betød blandt andet, at Juuls arbejde fik en renaissance. Gedsermøllen, der havde været i stabil drift i godt ti år frem til 1967, blev renoveret med midler fra det danske og amerikanske energiforskningsprogram. Forskerne fandt frem til, at Juuls solide vindmølle var fuldt ud konkurrencedygtig med de nye og mere avancerede design, som de amerikanske luft- og rumfartsingeniører havde udviklet.

Blandt andet baseret på genbrug og udvikling af Juuls vindmølle-design opstod den danske vindmølle-

industri, der med tiden fik mange arbejdspladser og stor eksport, præcis som Johannes Juul havde forestillet sig det. Udviklingen har siden da været relativt stabil, men også præget af store udsving. Stabil, fordi de danske vindmøller gradvist er blevet større og gradvist har vundet indpas i elforsyningen. Udsving, fordi udbygningen af vindkraft har været delvist afhængig af skiftende regeringers skiftende støtte til vedvarende energi og delvist afhængig af uforudsete udviklinger på verdensmarkedet for vindmøller.

### Forandring på forandring

Når forandringens vinde blæser, kan folk finde på hvad som helst. Der er nogle, der bygger vindmøller, mens andre arbejder med reaktorforskning. Andre igen er mest interesserede i det, der kan betale sig.

Historien, der er blevet fortalt i denne artikel, rummer en del af forklaringen på, hvorfor Danmark i dag er et foregangsland inden for vindmøller, men ikke atomkraft. I dag blæser forandringens vinde med uforandret styrke. Det er spørgsmålet om klimaforandringer, der nu sætter den energipolitiske dagsorden. Her kan både vindmøller og atomkraft være bud på en brugbar og fremadrettet løsning, for begge teknologier er CO<sub>2</sub>-neutrale. At de fleste i Danmark tolker klimaforandringens vinde som et argument for at bygge vindmøller, er et resultat af godt hundrede års dansk teknologihistorie. De teknologiske forandringsprocesser har været med til at forme forandringens vinde og påvirker den måde, vi nu vælger, om vi skal bygge læhegn eller vindmøller. ■



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

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

Læs mere på Roskilde Universitets hjemmeside  
[www.ruc.dk/natbachelor](http://www.ruc.dk/natbachelor)

Science på RUC  
 Naturvidenskab i virkeligheden



Foto: Colourbox

# Vejen til drømmestudiet

Mange finder uddannelsesvalg en kilde til stor frustration. Et nyligt afsluttet forskningsprojekt kaster lys over de problemer, de unge oplever både før og efter deres optagelse på “drømmestudiet”.

## Forfatterne



Henriette Tolstrup  
Holmegaard, adjunkt  
Institut for Naturfagenes  
Didaktik  
Københavns Universitet  
htholmegaard@ind.ku.dk



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

**F**oråret nærmer sig hastigt, og det samme gør ansøgningsfristen til de videregående uddannelser. Dette sætter eleverne i gymnasiets afsluttende klasser under et massivt pres, da de meget snart skal have en plan klar for deres fremtid. Uddannelsesvalget opleves som en frustrerende og ensom opgave af de fleste unge. Værktøjerne, man har til rådighed, er på én gang utroligt talrige og utroligt få.

Ny forskning fra det internationale projekt IRIS, der netop er afsluttet på Institut for Naturfagenes Didaktik på Københavns Universitet, har under-

søgt de udfordringer, gymnasieelever støder på i deres uddannelsesvalg. Resultaterne viser, at det er nødvendigt med en reel forventningsafstemning imellem elever og uddannelsessteder. Vi giver her et bud på, hvordan forskningsresultaterne kan omsættes til praksis med perspektiv til et konkret initiativ på kemiuddannelserne på Aarhus Universitet.

## Det komplekse uddannelsesvalg

Udgangspunktet for de unges overvejelser om uddannelse er en rationalisering af, hvad et “godt” valg er for en størrelse. Der er mange forestillin-



ger i spil. De produceres politisk (fx den sene-  
ste uddannelsesreform), men også rundt om mid-  
dagsbordet, til familiefester, i skolen osv. Samti-  
dig handler uddannelsesvalget dog for de fleste  
unge om andet en ren fornuft. Det handler om at  
kunne se sig selv som "sådan en, der studerer på  
en given uddannelse", og om at uddannelsen skal  
give adgang til en attraktiv fremtid i det hele taget.  
Derudover er der en bevidsthed om, at uddannel-  
sesvalget – her og nu – skal afspejle, hvem man  
føler, man *er*, foruden hvem man kunne tænke sig  
at *blive*. Det munder ud i et sammensurium af for-  
skellige interesser, som skal identificeres og juste-  
res i forhold til hinanden.

### Studievalgets psykologi

Resultater fra det europæiske forskningsprojekt  
IRIS giver os et indblik i, hvordan forskellige inte-  
resser spiller ind i valget. Den danske del af pro-  
jektet har særligt beskæftiget sig med unges valg  
af videregående uddannelse, deres overgang fra  
gymnasiet til universitet, frafald/fastholdelse samt,  
hvordan det er at starte på en uddannelse med en  
kønsskæv studenterpopulation. Fokus har været  
på tekniske og naturvidenskabelige uddannelser.  
Netop disse har stor politisk bevågenhed ud fra  
forventningen om nye videnskabelige opdagelser  
og teknologier, der kan markedsføres internatio-  
nalt. Samtidig viser prognoser, at vi i fremtiden vil  
mangle kandidater på det tekniske og naturviden-  
skabelige område.

Det fremgår af de unges narrativer, at de forsøger at  
gennemskue, sammensætte og relatere sig selv til en  
række komplekse faktorer:

#### **Forhold i samfundet:**

Hvilke jobs efterspørges i fremtiden? Hvilke slags  
uddannelser er vigtige?

#### **Arbejdslivet:**

Hvordan er det at være ansat i det private/offent-  
lige? Hvilke jobs munder uddannelserne ud i? Er  
arbejdet socialt/ individuelt? Er der plads til et  
familieliv?

#### **Studiets beskaffenhed:**

Er det interessant? Er det rart at være? Hvordan er  
studielivet? Giver det adgang til et attraktivt vok-  
senliv?

#### **Identitet:**

Passer jeg ind? Er jeg god nok? Kan jeg holde pres-  
set ud? Synes mine omgivelser også, at uddannelsen  
passer til mig?

Valget opleves som vigtigt, og alle facetter af det bør  
derfor grundigt overvejes. Det er imidlertid vold-  
somt ambitiøst, når  
gymnasietidens unge  
åbenbart oplever, at de  
skal have tænkt alle kon-  
sekvenser af valget igen-  
nem, inden det kan  
opleves som "rigtigt".  
De fleste unge oplever, at  
valget er deres *egen* per-  
sonlige opgave og ansvar  
– noget de selv må finde  
en gangbar vej igennem.  
Det kan være vanske-  
ligt at forudsige konsekvenserne af forskellige valg  
i almindelighed, og i særdeleshed når man er blot  
17 år. Derfor opleves valgprocessen oftest også som  
frustrerende og svær.

#### **Information og misinformation**

Den viden, der former valgprocessen, kommer for-  
skellige steder fra. Onkel Prebens historier fra sine  
dage på ingeniøruddannelsen indgår i samspil med  
rekrutteringsmateriale fra universiteterne og søg-  
ning på uddannelsesguiden. Herunder udsættes de  
unge for det kaotiske virvar af studietilbud, bro-  
churer, pamfletter, kataloger, hjemmesider og flyve-  
blade, som er de uddannelsessøgendes interface til  
studievalget. Det er en jungle, det kan være vanske-  
ligt at orientere sig i.

Det største problem for de unge er, at der ofte er  
indlejret et "markedsorienteret" formål i universite-  
ternes rekrutteringsstrategier. Der er konstant kon-

#### **Om det komplekse valg:**

»Interesser, er selvfølgelig oplagte. Det er jo ikke  
fordi, jeg vil gå ud og vælge et eller andet, som jeg  
overhovedet ikke gider. Men også ønsket for, hvad  
det er for et liv, man vil leve. Hvordan er lønnen, når  
man kommer ud? Hvordan er mulighederne for at få  
job og sådan nogle ting? Der spiller samfundet også  
en rolle. Dels hvad er det for et samfund, man skal ud  
i. Det er jo dumt at uddanne sig i et eller andet  
erhverv, der er ved at uddø. Men også – jo, hvad der  
er af muligheder. Skal det være privat eller offentlig  
ansat for eksempel«. (Fie, 3.g)

## Om IRIS-projektet

IRIS havde deltagelse fra fem europæiske lande, hvor Institut  
for Naturvidenskabernes Didaktik på Københavns Universitet  
var en af partnerne. Projektgruppen bestod af Professor Lars  
Ulriksen, Lektor Lene Møller Madsen og Adjunkt Henriette  
Tolstrup Holmegaard.

Den danske del af IRIS-projektet baserer sig på registerdata,  
spørgeskemaresultater, workshop-genererede data (skrive- og  
diskussionsøvelser) og interviews. Denne artikel trækker på  
resultaterne af den kvalitative længdesnitsundersøgelse.

Elever fra seks gymnasieklasser (HTX og STX) besvarede et  
spørgeskema, som blev brugt til at udvælge 38 elever til  
interviews. Af dem blev særligt 20 studerende fulgt med gen-  
tagende interviews fra slutningen af 3.g og ind på en teknisk  
eller naturvidenskabelige universitetsuddannelse. I alt base-  
rer denne del af undersøgelsen sig på 86 interviews fordelt  
over næsten tre år. Resultaterne af denne del af IRIS-projek-  
tet bliver præsenteret i afhandlingen: Students' Narratives,  
Negotiations and Choices', samt i en række internationale  
artikler.

kurrence om at tiltrække studerende. Her er målet ikke at skabe et virkelighedsnært billede af uddannelserne, men at vise dem fra deres bedste side. Det kan give et misvisende billede af ”drømmestudiet”. Konsekvensen kan senere blive en decideret identi-

#### Valget relateres til omgivelserne

»Folk sagde bare, at jeg ikke skulle være bekymret, jeg skulle bare tage det, jeg synes var interessant. Det er lige meget, hvem man spørger. Men, altså jeg overvejede også jura og sådan, men det var ikke populært (...) Det var sådan noget, ”jurister de er bare sådan nogle fupmagere” og sådan noget. ”De er bare sådan nogle, der snyder folk”. Ja okay, det skulle jeg da ikke tage, hvorfor synes jeg, det var interessant, altså, det var da noget af det kedeligste«. (Søren i 3.g)

tetskrise, når studiet og/eller studielivet viser sig at være meget anderledes end det, man havde forestillet sig.

Forskningen fra IRIS-projektet viser, at alle studerende oplever en ”kløft” mellem deres forventninger til den nye uddan-

nelse og deres studieerfaringer. Kløften varierer i størrelse, og de studerendes strategier i mødet med den er også forskellige:

Nogle studerende efterrationaliserer og overbeviser sig selv om, at studiet, sådan som det reelt viste sig at være, faktisk var netop det, de havde forestillet sig hele tiden. Det er dog sjældent let, og for nogle studerende lykkedes det ikke at konstruere en overbevisende fortælling, der bygger bro mellem forestilling og virkelighed. Derudover er der en gruppe studerende, der bider tænderne sammen og holder ud. De har vanskeligt ved at genfinde deres forventninger på selve studiet, men tåler forholdene, selvom det kan virke meningsløst, og deres motivation er begrænset. De holder fast i håbet om, at studiet på et senere tidspunkt vil blive som forventet. Risikoen for denne gruppe er, at omkostningerne bliver for store og gevinsterne for små.

Sidst er der en gruppe studerende, der konstant afprøver forskellige måder at studere på i håbet om at finde den rigtige. Disse oplever tit frustration og tager ansvaret for, at forventningerne ikke umiddelbart lader sig indfri, på deres egne skuldre. Studerende i denne gruppe bruger en masse tid og kræfter på at passe ind, og nogle ender med at brænde ud inden det lykkes.

For alle grupperne er konsekvensen, at de studerende genovervejer deres uddannelsesvalg. Resultatet bliver, at et udsnit af dem vælger at forlade deres naturvidenskabsstudie. Nogle finder et andet, andre ikke.

**Til gymnasie-eleven: Prøv det af på forhånd**  
Resultaterne fra IRIS-projektet tyder på, at der er god grund tro, at afgrunden kan mindskes ved

at skabe forudsætninger for en reel forventningsafstemning. Det betyder, at uddannelsessøgende får adgang til et helhedsindtryk af en potentiel uddannelse – også som den ser ud onsdag eftermiddag, når kaffeautomaten er i stykker, forelæsnings salen er propfyldt og forelæseren mumler ved tavlen. Som gymnasielev kan du selv aktivt forsøge at komme så tæt på studierne som muligt. Der findes en vifte af forskellige tilbud fra uddannelsesinstitutionerne. Blandt andet studiepraktik, der giver mulighed for, at du kan besøge uddannelserne, når undervisningen er i gang, snakke med ældre studerende og forsøge at se uddannelsen med dine egne øjne. På nogle uddannelser er der også mulighed for at lave større skriftlige opgaver. Gennem uddannelsens studievejleder kan du få en aftale i stand og høre om aktuelle arrangementer og besøgs muligheder. Besøg igennem længere tid giver det bedste udbytte. Dermed får du mulighed for at møde forskellige kurser, undervisere og studerende. Hvis du er på bar bund mht. hvilke uddannelse, der kan være noget for dig, så besøg gerne flere – og også flere på flere forskellige universiteter. Det kan nemt være rejsetiden værd.

Du får kort sagt det bedste indtryk af en uddannelse ved at prøve den af på din egen krop. Det kvalificerer dine forventninger og dit uddannelsesvalg.

#### Til uddannelsesinstitutionen: Drop glansbillederne

Fra universiteternes side handler det om at turde vise uddannelserne, som de virkelig er, ikke blot portrættere dem fra den bedste side. Blogs, hvor studerende skriver om hverdagen på studiet, og studiepraktik er alle eksempler på initiativer i den retning. Forholdene er i stigende omfang blevet et opmærksomhedspunkt og indsatsområde for universiteterne, men det kræver mod af et uddannelsessted at understøtte en forventningsafstemning. De risikerer at afmontere betragtelige dele af deres attraktion overfor potentielle studerende og stå svagere i rekrutteringskapløbet med de øvrige universiteter. Risikoen kan imidlertid mindskes gennem målrettet investering i de studerendes trivsel på studiet. Det inkluderer både de nære fysiske rammer, den sociale del af studielivet og den faglige uddannelse.

I relation til de fysiske rammer handler det om, at der er plads til, at man som studerende rent faktisk kan opholde sig på studiet, fx at arbejdsrum og opholdslokaler giver plads til et varieret studieliv.

#### Om kløften

»Det virkede bare mærkeligt, at vi skulle have en kittel, og så skulle den bare lægges til side. Vi fik dem doneret og fik taget billede med dem en af de første dage, men vi har ikke brugt den siden, så skulle vi bare lægge den derhjemme (...). Vi skal vist først i laboratoriet om et år«. (Emil, biokemi)

»Programmering er det, jeg søgte ind for, og det er det, jeg synes, mit studie bør handle om (...) Men jeg kan ikke rigtig programmere noget endnu, og det er begrænset, hvad vi har af det«. (Christian, software teknologi)





Hvad angår den sociale del, handler det om at få de studerende – nye såvel som gamle – til utvetydigt at opleve, at de er både velkomne og værdifulde. At der bliver tænkt på dem. Uddannelserne kan stimulere dette på forskellige måder, fx ved at understøtte og facilitere sociale arrangementer eller ved at mindske afstanden til forskerne, så man som studerende får mulighed for at sludre med underviseren ved kaffeautomaten.

Sidst handler det om, at uddannelserne kan tydeliggøre deres faglige logik for de studerende. Fx er det ikke altid klart for de studerende, hvordan det indhold, de undervises i, er relevant for deres uddannelse. Uddannelsen kan arbejde med at skabe en tydelig progression og relevans i studiet. Første studieår kan således med fordel indrettes som et introduktionsår, hvor studerende stifter bekendtskab med de væsentligste dele af faget samt tilegner sig meningsfyldte studievaner.

### Kemi som case

Flere og flere uddannelsessteder i landet arbejder på at imødekomme disse anbefalinger. Et godt eksempel er Institut for Kemi på Aarhus Universitet (AU). Her indførte man i 2010-2013 fag, som havde særligt sigte på at skabe et tidligt studieoverblik for de studerende på instituttets to bacheloruddannelser (Kemi og Medicinalkemi). I 2013-2014 totalre-

noverede man endvidere den store undervisningsfløj og etablerede to hele etager tilegnet disse studerende. Ud over fire nye undervisningslaboratorier oprettede man her både arbejdsrum, studiegrupperum og en "lounge" tiltænkt blandet studieforberedelse og afslapning. Sidstnævnte var et overlagt valg ud fra en nøgtern konstatering af, at ingen kan holde ud at studere uden pauser. Arbejdsborde og glastavler til eksamensforberedelse blev derfor suppleret med sofagrupper, puder og store planter. Man investerede endog i en lille besætning af brætspil. Mantraet for hele processen var "Øget trivsel". Allerede i udgangspunktet inddrog man derfor de studerende på instituttet som ressource; det skete via

Tutorforeningen for kemiuddannelserne. Her fik to repræsentanter til opgave (sammen med instituttets koordinator) at sammensætte indretningen af lokalerne – herunder udbud, evaluering af indretningsforslag, afprøvning af

møbler, osv. Det var vigtigt for instituttet, at de studerende følte et medejerskab af de nye rammer. Det blev efterfølgende underbygget mundtligt via både tutorforeningen og festforeningen for kemi.

Det resultat, som AU Kemi og andre uddannelsessteder håber på at opnå, er muligheden for at indprente nye potentielle studerende et positivt indtryk af stedets uddannelser *selv* på baggrund af studiehverdagens grå virkelighed. Det bliver hurtigt en "win-win situation" for både studerende og institution. ■

#### Mening i indholdet?

»Jeg har forsøgt at spørge, hvorfor vi skal have matematik, men der er ingen, der ved det. De siger bare, at ingeniører skal have matematik. Det er en lov.«  
(Ali, bioteknologi)

↑ Et blik ind i den ny-etablerede studenterlounge på Institut for Kemi, Aarhus Universitet

Foto: Maria Randima

#### Videre læsning

IRIS-projektthjemmesiden:  
<http://www.ind.ku.dk/forskning/projekter/iris/>

Henriette Tolstrup Holmegaards afhandling med udgangspunkt i IRIS-data: [http://www.ind.ku.dk/publikationer/inds\\_skriftserie/2012-26-students-narratives/](http://www.ind.ku.dk/publikationer/inds_skriftserie/2012-26-students-narratives/)

Bog med IRIS-projektets resultater:  
Henriksen, E. K., Dillon, J., & Ryder, J. (Eds.). (2015). *Understanding student participation and choice in science and technology education*. Springer.

## Aktuel NATURVIDENSKAB

### Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

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

### Styregruppe

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

### Redaktionsgruppe

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

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

### Ansvarshavende

Kommunikationschef Elin Møller

### Redaktion

Redaktør Jørgen Dahlgaard og redaktør Carsten Rabæk Kjaer  
Tlf.: 87 15 20 94

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

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

### Abonnementspris 2015

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

Abonnementsservice: Telefonnr.: 70 25 55 12

e-post: aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Layout og illustration: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S

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

Oplag: 8.200

Omslag: Plastikpose i havet.

Foto: Richard Whitcombe/Shutterstock.com.



## Fagpanel

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

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

GRUNDFOS

DU PONT

novo nordisk

novozymes  
Rethink Tomorrow



## Intropakke



Intropakken – en oplagt gaveide

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

Bestil via [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)  
[red@aktuelnaturvidenskab.dk](mailto:red@aktuelnaturvidenskab.dk)  
 eller på tlf. 70 25 55 12.

## Abonnementsservice

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

Kontakt abonnementservice på

Telefon: 70 25 55 12

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

[aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk](mailto:aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk)

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)

Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

## Oprydningssalg

Mangler du nogle numre af bladet?

Så er der nu en chance for at supplere samlingen med dette tilbud:

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

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

Se mere og bestil via hjemmesiden: [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk) eller på telefon 7025 5512.

## Tilbud fra Aktuel Naturvidenskab

# Aktuel Naturvidenskab på nettet

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

Du får:

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

Tilmeld dig via hjemmesiden: [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)



## Artikelarkiv

I artikelarkivet på vores hjemmeside kan du søge bl.a. samtlige artikler publiceret i Aktuel Naturvidenskab gennem tiden. Arkivet tæller mere end 1100 artikler, og alle er frit tilgængelige for download.

Adgang via hjemmesiden: [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)

## Mød os på Facebook

Vi vil meget gerne have din respons fx hvis du oplever, at funktioner i artikelarkivet driller eller hvis du savner artikler om et aktuelt emne.

Husk også at give os et like på Facebook ☺



# Frygtløse forskningsassistenter

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Isbjerger fødes, når kæmpestore stykker is brækker af en gletscher og styrter i havet under bulder, brag og skumsprøjt. Og det er et prægtigt skue, hvad enten det opleves live eller på en filmoptagelse. Efter en sådan oplevelse bør det samtidig stå klart for enhver, at fronten på en sådan udløbsgletscher bør betragtes på behørig afstand, medmindre man er usædvanlig dumdrigtig. Men hvad nu, hvis man som forsker meget gerne vil lave målinger netop der, hvor en gletscher er i direkte kontakt med havet? Ja, så er gode råd dyre.

Heldigvis er sæler i modsætning til forskere ikke bange for at færdes tæt ved iskanten, og de kan hjælpe de datahungrende forskere. Det har forskningsleder Sebastian H. Mernild sammen med amerikanske og grønlandske kolleger udnyttet ved at bruge ringsæler som forskningsassistenter ved deres undersøgelser af Jakobshavn-gletscheren i Vestgrønland og Helheim-gletscheren i Østgrønland.

## Veludstyrede sæler

»Tidligere tog vi til Grønland og målte under feltperioder fra en uges til ca. en måneds varighed, eller vi installerede instrumenter, der kunne måle løbende i fjordene, hvor det var muligt. Men siden 2010 har sælerne gjort en del af arbejdet lettere for os,« fortæller Mernild. Det foregår ved, at forskerne sidst i sommerperioden limer en målepakke fast på nakken af sælerne (selvfølgelig uden at sælerne lider overlast!). Pakken indeholder sensorer, der kan måle vandets temperatur, dybde og ledningsevne (som kan omregnes til saltholdighed). Hver gang sælen dykker, opsamlers sensorerne data, og når sælen stikker hovedet op af vandet igen, sendes de målte data samt information om sælens position til en satellit. »Sådan kan sælerne fungere som vores fremskudte, mobile forskningsstationer helt frem til maj/juni, hvor udstyret typisk falder af sælen, når pelsen skiftes«, forklarer Mernild.

Det har givet forskerne en masse spændende data, da sælerne har mulighed for at komme helt tæt på iskanten. De færdes også frejdt i det større område foran gletscheren (5-10 km), hvor fjorden er fyldt med afbrækkede isbjerger i alle størrelser, og hvor forskere må bevæge sig med stor varsomhed i deres skrøbelige fartøjer.

## Tæt på den undersøiske afsmeltning

Den videnskabelige baggrund for at gøre sælerne til levende målestationer er, at forskerne gerne vil have en detaljeret forståelse af de fysiske processer bag den undersøiske afsmeltning af Indlandsisen, og af,



Foto: Aqqalu Rosing-Asvid (Grønlands Naturinstitut)

hvordan det påvirker vandsøjlen lige foran indlandsisen. Indlandsisen taber masse pga. atmosfærisk afsmeltning og fordampning fra dens overflade, men også under havet, hvor det varmere havvand møder gletscheren. »Hvis vi ønsker at forudsige massetabet fra Indlandsisen i fremtiden, er det vigtigt, at vi fysisk kan beskrive sammenhængen mellem, hvad der sker på Indlandsisen, og hvad der sker i vandsøjlen helt tæt på iskanten«, forklarer Mernild.

For nylig har han sammen med kolleger fra New York University, New York University Abu Dhabi og Naturinstituttet i Grønland publiceret en artikel, hvor de sammenligner data opsamlet af sæler foran Jakobshavn-gletscheren med modelberegninger for afstrømning af smeltvand fra indlandsisen. Her kunne forskerne se en tydelig sammenhæng mellem mængden af smeltvand, der strømmer ud i fjorden fra Indlandsisen (såvel fra overfladen som fra bunden af isen) og forandringer i temperatur- og salinitetsforhold, hvor isen er i kontakt med havvandet. »Det er vigtige observationer, når vi vil forstå de fysiske processer i grænsefladen mellem is og hav, og ligeledes, når vi i nær fremtid vil modellere og sammenkoble dynamiske is- og havmodeller«, siger Mernild.

## Også noget for sælforskerne

Data opsamlet af sælerne er ikke kun interessante for de forskere, der studerer de fysiske forhold i det undersøiske miljø af Indlandsisen. Dataserien afslører også, hvordan sælerne bevæger sig rundt i fjordsystemet gennem sensommer-, vinter- og forårssæsonen, hvilket er guldgrube for biologerne tilknyttet projektet.

Videre læsning: Mernild et al: *Jour. of Physical Oceanography*, doi: 10.1175/JPO-D-14-0217.1. ■