

# Aktuel NATURVIDENSKAB

1 | MARTS | 2015

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00

## Tre tigerspring for materialeforskningen

Tema om materialeforskning med neutron- og røntgenteknikker

Hvad siger tallene? Om statistik i medierne

Synspunkt: Hvem skriver lærebøgerne om?

Kongeriget's glømte Inge



# Hvem skriver lærebøgerne om?

**Gode lærebøger er blevet en mangelvare på universiteterne, fordi der ingen incitament er til at skrive lærebøger. Det går ud over kvaliteten af undervisningen.**



Af Kaj Sand-Jensen, professor Ferskvandsbiologisk Laboratorium Københavns Universitet ksandjensen@bio.ku.dk

## Læs videre:

Kvalitetsudvalgets rapport *Nye veje og høje mål* kan læses på Uddannelses- og Forskningsministeriets hjemmeside: [ufm.dk](http://ufm.dk)

“Lærebøgerne skal skrives om”. Du har sikkert bemærket, at det er en yndet og hyppig brugt punch line i populær formidling af universiteternes forskningsresultater. Henvisningen til lærebøgerne skyldes naturligvis, at de repræsenterer den autoritet, der opsummerer den etablerede viden inden for et fag og giver den videre til nye generationer. Det er da også uomtvisteligt, at lærebøger – eller mere bredt “undervisningsmateriale” – spiller en afgørende rolle for fagenes udvikling i almindelighed og for kvaliteten af undervisningen i særdeleshed. Derfor er det en på alle måder samfundsnyttig aktivitet at skrive lærebøger (og skrive dem om). Men hvis man i sin akademiske karriere bruger tid på at skrive lærebøger er man godt dum – eller måske blot en naiv idealist. For når vores akademiske meritter måles og vejes, tæller det ingen steder, at man har skrevet lærebøger. At skrive lærebøger anses altså for at være et tidkrævende sidespring (det kan snildt tage et år at udarbejde en lærebog), som tager fokus og energi fra det universitetsansættelse i dag handler om: at skaffe fondsmidler til instituttet og producere videnskabelige afhandlinger. For yngre lektorer er det decideret selvdestruktivt at give sig i kast med bogprojekter, uanset hvor mangelfuldt undervisningsmaterialet måtte være.

## Paradoksalt mangler på undervisningsfokus

Konsekvensen er, at rigtig meget undervisning på universiteterne i dag foregår, uden at de studerende har adgang til undervisningsmateriale af god kvalitet. Gode lærebøger skal have en logisk, velskrevet tekst, behandle de vigtigste sammenhænge i faget, være opdaterede og via eksempler og opgaver gøre de studerende i stand til at arbejde konkret og analytisk med de nye spørgsmål og løsningskrav, som de møder i deres fremtidige arbejde. Det vil for langt de fleste ikke foregå på universiteterne, men i private virksomheder, kommunale-statslige forvaltninger og på andre undervisningsinstitutioner. I den nylige rapport fra “Kvalitetsudvalget” er der fokus på det faktum, at undervisningskompetencer ikke rigtig tæller i det akademiske meritssystem, og at det er et problem for kvaliteten af uddannelserne. Jeg mener, at det i den sammenhæng er vigtigt at inddrage en diskussion af lærebøger og undervisningsmateriales betydning for kvaliteten i undervisningen og dermed for de færdige kandidaters muligheder for at kunne tilføre afgørende kompetencer til udvikling af samfundet.

Det manglende fokus på indhold og kvalitet af universiteternes undervisning er paradoksalt, fordi de fastansatte lærere forventes at anvende halvdelen af deres tid på undervisning. Mange steder får man fornemmelsen af, at al energi og belønning går til forskningsdelen. Denne skævvridning er klart forøget i de seneste årtier i takt med mere topstyring og reduktion af basisbevillinger i forhold til eksterne bevillinger. Med stadigt flere udenlandske forskere og forskerstuderende er fokus på undervisning faldet yderligere.

## Sammenhæng er afgørende

Sproget og den sammenhæng, det anvendes i, er vigtig for effektiv læring. Elementær undervisning i geografi, geologi, naturressourcer, økologi og praktisk forvaltning har så stor tilknytning til den nationale sammenhæng, at konkret henvisning til danske arter, lokaliteter og historie i danske lærebøger sikrer det højeste udbytte. Indlæring af sproget udgør en første barriere, og muligheden for at forholde sig konkret til lokaliteter mv. i den engelske lærebog er den næste barriere. Derfor har nye studerende nemmere ved at læse og forholde sig konkret til egne oplevelser med Furesø og Gudenå i den danske lærebog end til kæmperne Michigansøen og Mississippifloden og deres helt ukendte fiskearter i den amerikanske lærebog. Udenlandske eksempler kan være irrelevante eller direkte lede til misforståelser i en dansk sammenhæng. Fysiske processer i amerikanske kæmpesøer og floder kan ganske enkelt ikke overføres til de meget mindre danske søer og vandløb.

Mange fag inddrager i stigende grad specialartikler i undervisning, hvilket er nyttigt for at lære kritisk læsning af forskningslitteratur. Men de må nødvendigvis være et supplement til det overblik, som lærebogen skaber. Kandidater ansat ude i samfundet vil således gang på gang vende tilbage til deres oprindelige lærebøger, men aldrig til de læste specialartikler. På universiteterne er vi imidlertid allerede nu overladt til lærebøger, som er for gamle eller blot er blevet lappet på med tillægskapitler eller bokse i nye oplag. Illustrationer er teknisk dårlige, og gode eksempler og praktiske øvelser mangler ofte. Derfor er der al mulig grund til at fremme incitamenterne til, at vi får skrevet de gode lærebøger, som kunne løfte de studerendes læringsudbytte markant. ■



## Tema

### Tre tigerspring for materialeforskningen

Materialeforskningens CERN. Sådan kan man beskrive de store nye forskningsfaciliteter, der for tiden er ved at blive bygget ved hhv. Lund i Sverige og Hamborg i Tyskland. Det drejer sig om neutronkilden European Spallation Source (ESS) og synkrotron-røntgenkilden MAX IV, der begge opføres i Lund, og den europæiske fri-elektron røntgen-laser European X-ray Free Electron Laser (E-XFEL) ved Hamborg. I dette og næste nummer af Aktuel Naturvidenskab vil en række danske materialeforskere fortælle om nogle af de mange muligheder, de nye faciliteter vil byde på for dansk materialeforskning.

## Indhold

### FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
TEMA:	
Tre tigerspring for materialeforskningen .....	8
Et tidsmikroskop – oplev verden på et nanosekund .	14
Magnetoelektriske materialer finder vejen til fremtidens IT .....	18
Røntgen-snapshots fanger kemi i flugten.....	22
Se nanomaterialer blive til – in situ krystallografi . . .	26
Parasit påvirker torskens hjerterytmer.....	32

### PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: Hvem skriver lærebøgerne om? .....	2
Sådan skrives det! .....	36
Hvad siger tallene? .....	38
Kongerigets glemte Inge .....	44
Boganmeldelser: “Det dyrebare” og “Blomsterliv” . . .	48
Bagsiden: Mini-satellitter på samlebånd.....	52



## 38

### Hvad siger tallene?

Undersøgelser og tal fylder godt i de daglige nyheder. Men der er god grund til at kigge kritisk på de taltunge nyheder, for ofte er de skæmmet af fejlslutninger.

Inge Henningsen guider læseren gennem nogle af de mest almindelige fejl, man kan støde på.

## Afslører dit ansigt din personlighed?

Udseendet har stor betydning for, hvordan vi vurderer et menneskes personlighed. Men vurderer vi rigtigt? Det har Karin Wolffhechel fra DTU Systembiologi undersøgt som led i sit ph.d.-studie, og det korte svar er nej. Men der er alligevel et par personlighedstræk, som har en tendens til at afspejle sig i ansigtet.

Fx vil mænd med brede kæbepartier ofte blive vurderet som dominerende, og der er faktisk en lille tendens til, at det stemmer. Samtidig vil kvinder, der ud fra deres udsende af andre bliver vurderet som eventyrlystne og emotionelt stabile, også have stræbsomhed som et tydeligt træk i deres personlighed.

Som led i forsøget fik 244 ansatte og studerende på DTU taget billeder af deres neutrale ansigt. Der blev brugt samme opstilling ved alle billeder. Derefter satte man punkter i billederne, så man kunne udregne koordinater, der beskrev ansigtstrækkene. Forsøgspersonerne gennemgik en personlighedstest med fem overordnede personlighedstræk: Omgængelighed, ansvarsbevidsthed, udadvendthed, følelsesmæssig stabilitet, intellektuel åbenhed og dertil yderligere 17 underordnede træk. Endelig vurderede forsøgspersonerne 20 andre deltageres billeder og gav en score på 1-9 på tolv forskellige personligheds- og ansigtstræk.

Studiet er mundet ud i en model, der kan forudsige hvilket førstehåndsindtryk, man giver. Upload et billede med neutrale ansigtstræk af dig selv på [face.cbs.dtu.dk](http://face.cbs.dtu.dk), og du kan få vurderet omverdenens sandsynlige førstehåndsindtryk af dig. Siden vil annotere (opmærke) bille-

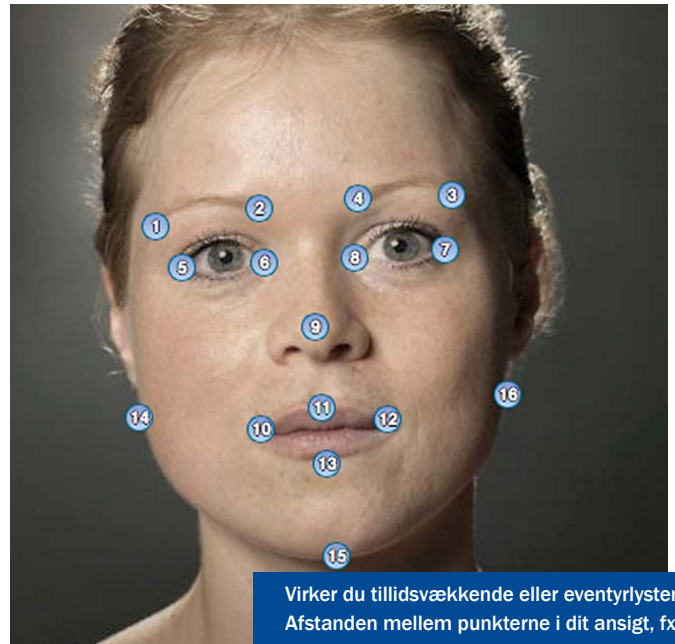


Foto: Mikal Schlosser

Virker du tillidsvækkende eller eventyrlystent? Afstanden mellem punkterne i dit ansigt, fx kæbepartiets og mundens bredde, afgør, hvilket førstehåndsindtryk andre får af dig.

det, og afstanden mellem punkterne afslører, hvordan du vil blive vurderet på 12 personligheds- og ansigtstræk.

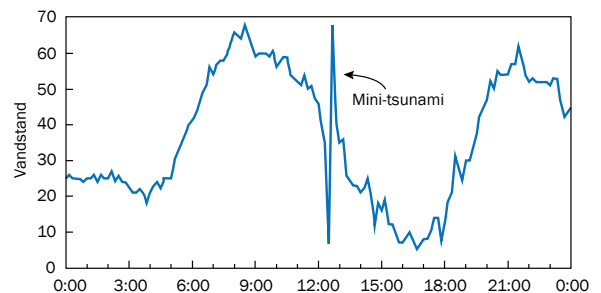
Af Tore Vind Jensen, DTU

## Mini-tsunami i dk

Vandstanden falder pludselig i havnen. Efter få minutter står havoverfladen mellem 60 og 100 cm lavere end normalt. Herefter stiger vandet igen. Det var, hvad en lokal fisker fra Svaneke på Solskinsøen Bornholms østkyst oplevede den 7. februar 2015.

Oceanograf Jacob Woge Nielsen, DMI, har analyseret data fra bølgen. Han betegner hændelsen som en mini-tsunami, og flere ting peger i den retning. Et kendetegn ved tsunamier er deres lange bølgelængde. Det vil sige, at der er langt mellem bølgetoppene i tsunamienes enkelte bølger. Derfor kan tsunamier næsten ikke mærkes på det åbne hav. Når bølgen bevæger sig ind på lavt vand, bliver den kortere og højere. »Bølgefronten er enten en dal eller en top, som forplanter sig hele vejen fra oprindelsesstedet til kysten. Hvis det er en dal, ser man først, at vandet trækker sig tilbage fra kysten. Det kan blotlægge havbunden et godt stykke ud. Lige noget for nysgerrige strandgæster«, siger Jacob Woge Nielsen. Tilbagetrækningen svarer meget godt til, hvad fiskerne oplevede i Svaneke Havn.

Tiden fra tsunamien første bølgetop passerer et sted, til den næste bølgetop passerer samme sted, kaldes bølgeperioden. Svaneke-bølgen havde en bølgeperiode på nogle minutter, som stemmer godt overens med en typisk bølgeperiode for en tsunami. En mini-tsunami virker derfor som en passende betegnelse for det usædvanlige fænomen. Årsagen er dog endnu ukendt. »Et undersøisk skred er mit bedste bud,« siger Jacob Woge Nielsen.



Den 25. oktober 2001 ramte en tsunamilignende bølge den jyske vestkyst. Ved Ferring syd for Thyborøn faldt vandstanden først omkring ½ meter, hvorefter den igen steg næsten 70 centimeter.

De fleste tsunamier skabes netop af skred eller af jordskælv under havet. Tsunamier er ikke et fænomen, vi ser særligt meget til herhjemme. Danmark ligger i et område med lav risiko for jordskælv, og havene omkring os er ikke dybe nok til de helt store bølger.

Vi har dog oplevet mystiske bølger før. Den 21. juli 1998 oversvømmede bølger på op til 1 m strandene langs den jyske vestkyst. Noget lignende skete i 2001 ved Thyborøn, hvor 1 m høje bølger kom ud af det blå. I begge tilfælde er den mest sandsynlige forklaring kraftige tordebygger i Nordsøen. »Mini-tsunamier er observeret før, men det her er første tilfælde, jeg kender til, i Østersøen«, slutter Jacob Woge Nielsen. Se video af fænomenet: <http://korturl.dk/q4w>

Af Pernille Kirstein Hansen, meteorolog under uddannelse, DMI.



# Bruger du sukker i gyllen?

Landbruget kan formentlig halvere udledningen af de skadelige ammoniakdampe ved at hælde sukker i gyllen. Ny forskning fra Aarhus Universitet tyder på, at sukker kan erstatte svovlsyre som middel til at fjerne ammoniakdampene – til glæde for økologiske landbrug og biogasproduktion.

Sur gylle (altså gylle med lav pH-værdi) afgiver ikke nær så meget ammoniak som neutral gylle; faktisk kan forsuring af gylle reducere afdampningen af ammoniak med op til 70 pct. Derfor er et stigende antal danske landmænd i løbet af de sidste 10 år begyndt at tilsætte svovlsyre til deres gylle. Gylleforsuring med svovlsyre er dog ikke et universalt værktøj. Økologiske landmænd må ikke bruge det, og biogasreaktorerne kan ikke bruge gylle, der er tilsat svovlsyre.

Nu har forskere fra Aarhus Universitet sammen med landbruget og industrien fundet ud af, at sukker er ligeså godt til at forsure gylle med. Og sukker er hverken et problem for økologer eller biogasproducenter.

»Sukkeret fungerer som substrat for bakterier, der producerer mælkesyre. Og mælkesyren har samme effekt på ammoniak, som svovlsyren har,« forklarer Maibrith Hjorth, der er kemiker og adjunkt på Insti-

tut for Ingeniørvidenskab – Manure Technology and Biogas – på Aarhus Universitet.

»I første omgang har vi testet, hvordan gylle reagerer, når vi tilsatte en kombination af mælkesyrebakterier og sukker. Det viste sig at virke meget fint, vi kunne endda få pH-værdien til at falde endnu mere, end det var nødvendigt. Men siden har vi fundet ud af, at man ikke behøver at tilsætte mikroorganismer, for dem, der allerede er i husdyrgødningen, kan sagtens selv klare det, hvis man sørger for at opformere dem. Og opformeringen klarer de også selv, hvis man tilføjer sukker,« siger Maibrith Hjorth.

Peter Gammelby, Kommunikationspartner, Aarhus Universitet



Foto: Peter Gammelby

# Hørelsen er ældre end vi troede

Lungefisk og salamandre kan høre, selvom de hverken har et ydre øre eller et mellemøre, har et team af forskere fra Aarhus Universitet, Syddansk Universitet og Aarhus Universitetshospital opdaget. Det betyder, at de tidligere landlevende hvirveldyr sandsynligvis også kunne høre allerede for 300 millioner år siden. Ørerne hos lungefisk og salamandre er nemlig gode modeller for forskellige udviklingstrin af ørerne hos de tidlige landlevende hvirveldyr.

Hos mennesker og mange andre landlevende hvirveldyr kan øret opdeles i tre dele: det ydre øre, mellemøret og det indre øre. Det ydre øre indfanger de lydølger, der rammer det og leder dem ind i øregangen. I mellemøret overføres tryksvingningerne i luften via trommehinden og én eller tre mellemøreknogler til væskebevægelser i det indre øre, hvor oversættelsen af lydølger til nervesignaler finder sted.

Trommehindemellemøret forbedrer overførslen af lydenergi fra omgivelserne til sansecellerne i det indre øre med op mod 1000 gange og har derfor stor betydning for hørelsen hos landlevende hvirveldyr.

Tilgængelige palæontologiske data tyder dog på, at trommehindemellemøret med stor sandsynlighed først blev udviklet ca. 100 millioner

Forskerne har spillet lyde for dyrene både under vand og i et lyddødt rum (som på billedet) og målt de resulterende nervesvar i hørenerven og hjernestammen vha. elektroder i huden.



Foto: Christian Bech Christensen

år efter, at hvirveldyrene gik på land. Derfor har forskere længe antaget, at de tidlige landlevende hvirveldyr var døve.

Til forskernes overraskelse viste deres undersøgelser, at ikke bare de landlevende voksne salamandre, men også de vandlevende unge salamandre og endda lungefiskene, som er fuldstændig utilpasset hørelse i luft, kan høre lyd i luft på trods af det manglende trommehindemellemøre. Ved at undersøge dyrenes vibrationssans har forskerne påvist, at både lungefisk og salamandre hører lyd ved at sanse de vibrationer, som lydølgerne inducerer, når de rammer dyrene.

Det betyder, at hvirveldyrenes tilpasning til hørelse i luft efter overgangen fra vand til land formentlig var en gradvis proces. Alt tyder således på, at de tidlige landlevende hvirveldyr kunne høre også før de udviklede trommehindemellemøret.

Ud over at gøre os klogere på hørelse generelt, kan resultaterne i fremtiden give inspiration til udviklingen af kliniske behandlinger for hørenedsættelse.

CRK, Kilder: AU og SDU.

Videnskabelige kilder: Proc. R. Soc. B 282: 20141943. J Exp Biol 218, 381-387.



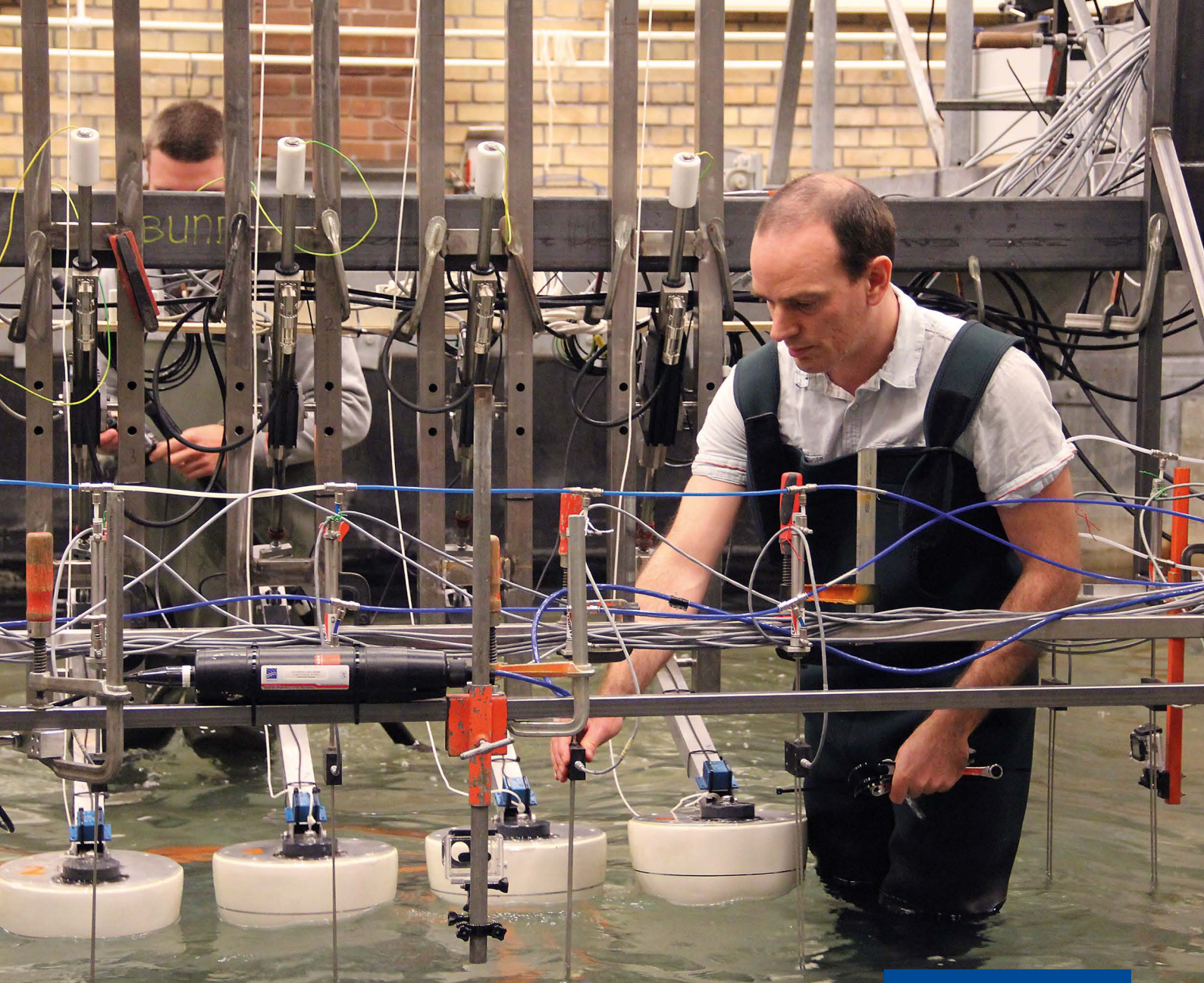


Foto: Carsten Nielsen

## Havets hærværk sat på formel

Kæmpebølger, storme og salte skumsprøjt gør livet farligt for de maskiner, som på forsøgsbasis omformer havets kræfter til grøn elektricitet. Ved at kombinere matematiske modeller med bølgesimulatorer i laboratoriet er bølgeenergiforskere på Aalborg Universitet blevet bedre til at forudsæ ting, der kan gå galt. Det kan gøre næste generations prototyper mere pålidelige.

Et af bølgeenergienkoncepterne omsætter vuggende flyderes bevægelser i vandoverfladen til elektricitet via et hydraulisk stempel og en generator. Så snart der er mere end én flyder på en bølgeenergimaskine, påvirker de imidlertid hinanden. Ved at sætte de indbyrdes påvirkninger ind i modeller har forskerne anvist strategier for en mere optimal styring, så der både tages hensyn til slid og produktion.

»Hvis man udelukkende designer sit bølgeenergianlæg med maksimering af ydelsen for øje, vil man typisk vælge meget aggressive styringsstrategier til at hive energien ud med. Det medfører imidlertid væsentligt større belastning og udgifter til mere stål, øget vedligehold, større fejlra-ter og dermed selvfølgelig et dyrere anlæg. Det er derfor meget væsentligt for bølgeenergianlæg at finde den mest fordelagtige balance mellem ydelse og pris, så designet afspejler den laveste mulige pris pr. produceret kWh,« forklarer lektor og civilingeniør Morten Kramer, som er ansat i en kombineret stilling hos Aalborg Universitet og bølgeenergi virksomheden Wavestar.

Resultaterne kan være et skridt på vej mod at gøre bølgeenergi til et reelt supplement til fx vindenergi. Modelarbejdet og bassinforsøgene gør det dog ikke alene, understreger Morten Kramer. Der bliver brug for flere prototypetest i

Morten Kramer ved en nedskalaret forsøgsopstilling i Aalborg Universitets indendørs bølgebassin. Her undersøges flydere i stil med dem, der anvendes på Wavestars store bølgemaskine, når de bliver udsat for kunstigt skabte bølger i bassinet.

det ubarmhjertige miljø til havs, før bølgeenergi kan gøre sig håb om at spille en reel rolle i energiforsyningen.

Carsten Nielsen, journalist,  
Aalborg Universitet  
Se de nyeste videnskabelige artikler:  
<http://kortlink.dk/fsrd>



## Robotter kan nu lære ved at se

Normalt tager det en ingeniør mange timer at programmere en robot til at udføre en arbejdsopgave. Men nu er det lykket forskere på SDU at skabe et system, hvor robotten oplæres ved, at en medarbejder viser den, hvad den skal gøre. Robotten husker efterfølgende bevægelserne og gentager dem.

»Vi har udviklet et system, som er i stand til at lære fra mennesker. Med det unikke system giver vi medarbejdere i produktionen en mulighed for selv at programmere robotten. Det er en stor fordel for industrien, fordi robotterne bliver meget mere fleksible og billigere at bruge,« siger adjunkt Thiusius Rajeeth Savarimuthu fra Mærsk Mc-Kinney Møller Institutet på SDU.

I stedet for at skrive mange linjer med programmeringskoder, sikrer systemet, at robotten kan lære ved at iagttage et menneske. Robotten er udstyret med mange kameraer, som kan følge personens bevægelser, og robotten indkoder sig, hvordan arbejdet skal udføres.

Systemet sikrer også, at robotterne er i stand til at blive dygtigere og hurtigere for hver gang, de udfører en opgave. Robotten er dermed i stand til at forbedre sig selv.

Forskernes resultater kan forandre industriarbejdspladserne signifi-



Foto: Det Tekniske Fakultet, SDU

kant. Forskningsprojektet, kaldet IntellAct, skal nu videreudviklet i samarbejde med små og mellemstore virksomheder. Perspektivet er, at de fleksible robotter på sigt kan betyde, at der ikke længere vil være en økonomisk gevinst ved at flytte industriarbejdspladser til lavtlønslande.

Af Mette Christina Møller Andersen, Kommunikationsmedarb., SDU

Se film af den lærende robothånd:

[www.youtube.com/watch?v=vwLjXSVfsQA](http://www.youtube.com/watch?v=vwLjXSVfsQA)

## Ekspllosion kigget i kortene

Mange har sikkert i skolen oplevet det fascinerende eksperiment, hvor en klump natrium puttes ned i en beholder med vand, hvorefter klumpen opfører sig som en anden ildspruttende nytårsfontæne. Når natrium reagerer med vand afgives elektroner fra metallet til vandet, hvor de reagerer og danner hydrogen gas og natriumhydroxid (NaOH). Den eksplosive opførsel af natrium (og andre alkalimetaller) forklares ved, at reaktionen foregår under stor varmeudvikling, der kan være tilstrækkelig til at antænde hydrogen gassen.

Men denne lærebogsforklaring indfanger ikke det, der er afgørende for, at den voldsomme reaktion kan finde sted, fremgår det af en ny afhandling i *Nature Chemistry* af Pavel Jungwirth og kolleger fra det tjekkiske videnskabsakademi.

For at processen kan udvikle sig eksplosiv kræver det en effektiv opblanding af reaktionsprodukterne ved kontaktfladen mellem natrium og vand, da reaktionen kun kan foregå ved denne kontaktflade. Men det har ikke været klart, hvad der skulle forårsage en sådan effektiv opblanding. I virkeligheden burde produktionen af damp og hydrogen gas danne et beskyttende lag, der adskilte reaktanterne og derfor fik reaktionen til at gå i stå.

Forskerne har ved hjælp af et højhastighedskamera studeret, hvad der sker, når små dråber af en blanding af natrium og kalium kommer ned i en vandbeholder. Meget kort tid efter, at dråberne har ramt vandet (ca. 350 mikrosekunder) skyder der metaltråde ud i vandet fra drå-



Foto: Wikimedia Commons. (CC BY-SA 3.0)

Dramatisk ser det ud, når en klump natrium reagerer med vand.

ben med høj fart – hurtige end dannelsen af gas. Ved hjælp af simuleringer af molekylernes dynamik er forskerne nået frem til, at fænomenet kan forklares med en såkaldt Coulomb-eksplosion, hvor elektroner afgives fra metaloverfladen til vandet næsten øjeblikkeligt, hvorefter de positive metalioner frastøder hinanden. Resultatet er en dramatisk forøgelse af overfladearealet, der er afgørende for, at der kan finde en eksplosiv reaktion sted.

CRK, Kilde: *Nature Chemistry* (2015), doi:10.1038/nchem.2161

Se video med forskernes forklaring på fænomenet:  
[www.youtube.com/watch?v=8PEVmf1pUCo](http://www.youtube.com/watch?v=8PEVmf1pUCo)

# Tre tigerspring for materialeforskningen

Materialeforskningens CERN. Sådan kan man beskrive de store nye forskningsfaciliteter, der for tiden er ved at blive bygget i hhv. Lund i Sverige og Hamborg i Tyskland.

## Forfattere



Peter Kjær Willendrup  
Senior Forskningsingeniør,  
Institut for Fysik, DTU  
pkwi@fysik.dtu.dk



Mads Ry Vogel Jørgensen  
postdoc,  
iNANO-Kemi,  
Aarhus Universitet  
mads@inano.au.dk



Kim Lefmann, lektor,  
Niels Bohr Institutet,  
Københavns Universitet  
lefmann@nbi.ku.dk



Kristoffer Haldrup,  
seniorforsker  
Institut for Fysik, DTU  
hald@fysik.dtu.dk

I denne og næste udgave af *Aktuel Naturvidenskab* er danske forskere inden for materialevidenskab i bred forstand gået sammen for at skrive en serie artikler, som illustrerer de nye muligheder, der åbner sig for dansk materialeforskning i den nære fremtid. Helt nye faciliteter er ved at blive bygget i Lund og Hamborg – i kort afstand fra og dermed let tilgængelige for alle de danske forskningsmiljøer. Nærmere bestemt er der tale om neutronkilden European Spallation Source (ESS), der opføres af et stort europæisk konsortium med svensk-dansk værtskab, den europæiske fri-elektron røntgen-laser, European X-ray Free Electron Laser (E-XFEL), der opføres med tysk værtskab, samt den svenske MAX IV synkrotron-røntgenkilde. De tre faciliteter kommer til sammen til at udgøre en slags “materialeforskningens CERN”, hvor nærmest alle typer af materialer kan undersøges ved hjælp af en række højt specialiserede instrumenter. Ved at studere og udvikle nye materiale typer er det håbet, at forskningen kan hjælpe til med at løse en lang række af samfundets problemer indenfor fx miljø- og klima, energi, transport, medicin og sundhed.

Nærværende artikel beskriver de tre faciliteter, hvordan de tre faciliteter komplementerer hinanden samt hvilke instrumenter ved faciliteterne, der har særlig dansk interesse.

## Røntgen og neutroner

Fælles for alle de eksperimentelle teknikker, der beskrives i dette tema, er, at de undersøger vekselvirkningen mellem en røntgen- eller neutronstråle og en materialeprøve.

Som beskrevet i kvantemekanikken kan energi (lys) opføre sig som enten bølger eller partikler. På samme måde kan partikler opføre sig som enten bølger eller partikler. Det viser sig, at neutroner,

der er kommet i termisk ligevægt med et materiale ved stuetemperatur, har en bølgelængde på 0,1 - 1 nm, altså tæt på afstandene mellem atomerne og lidt længere end bølgelængden af røntgenstråling. Derfor kan man “se” atomer med både røntgen- og neutronstråling. Men neutronerne ser mere end bare atomerne: De vekselvirker også med magnetisme i materialerne og med de vibrationer, som atomerne i materialerne laver.

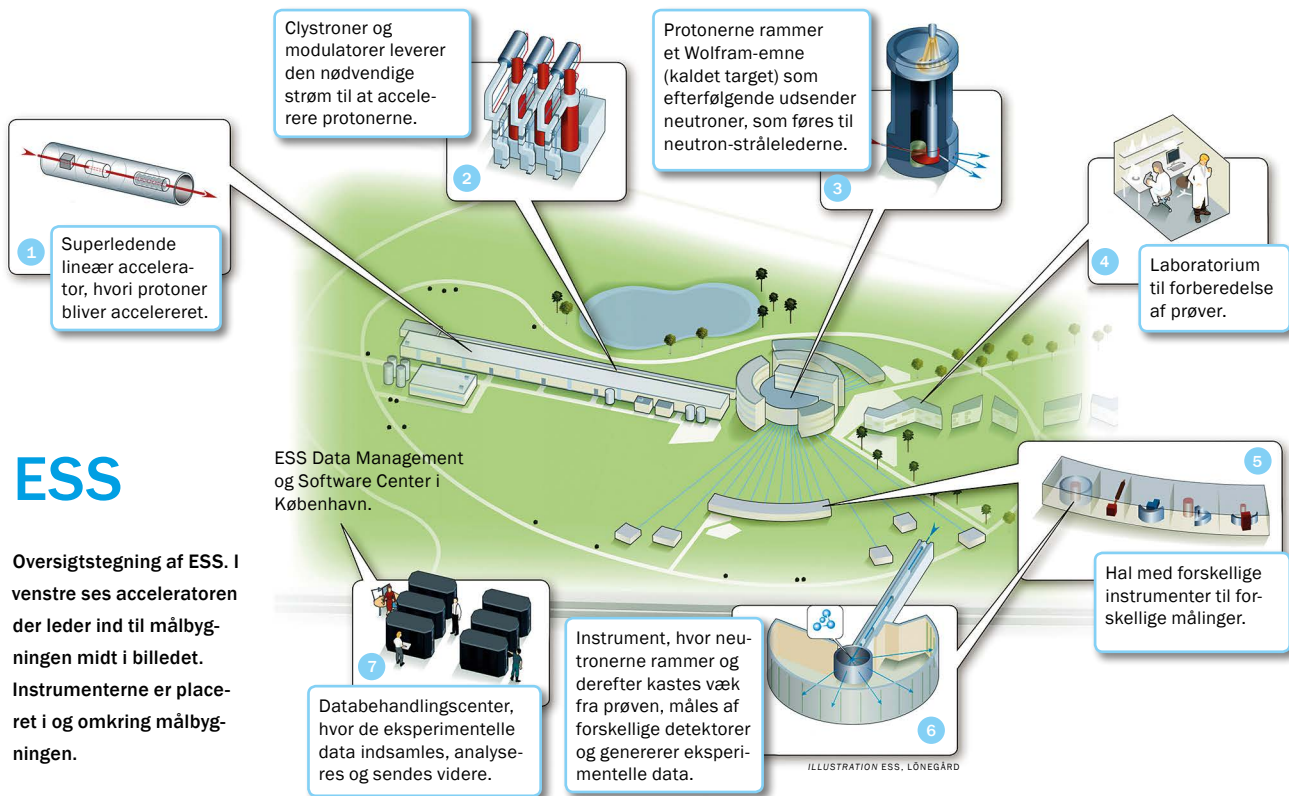
Det er særligt for neutronen, at den ikke har nogen ladning og derfor kun vekselvirker svagt med de fleste materialer. Det gør, at man kan se ind i meget store prøver eller sende strålingen gennem tykke vægge på fx køleenheder eller magneter, hvis man vil undersøge prøven under specielle fysiske forhold. Der er eksempler på eksperimenter, hvor en hel motorblok fra en lastbil er blevet undersøgt.

En anden særlig egenskab for neutronen er, at den kan optage energi fra eller afgive energi til det materiale, den vekselvirker med. Energien bliver omsat til/fra vibrationer i materialet. Det kan udnyttes til at undersøge, hvordan vibrationerne har indflydelse på et materiales egenskaber.

Når man lyser på en prøve med neutronstråling spredes strålerne ved vekselvirkning med atomkerne, og denne spredning skaber et unikt mønster af stråling på grund af interferens mellem stråler spredt fra de enkelte atomer. Når man studerer sammenhængen mellem den stråling, der sendes ind mod prøven og den stråling, der udsendes fra prøven, kan man med forskellige metoder både måle strukturer i materialet og dynamiske fænomener.

Neutroner fornemmer atomer meget anderledes end røntgenstråling. Hvor neutroner vekselvirker med atomkernen, vekselvirker røntgen med elektronerne,





## ESS

Oversigtstegning af ESS. I venstre ses acceleratoren der leder ind til målbygningen midt i billedet. Instrumenterne er placeret i og omkring målbygningen.

og jo flere elektroner i et givent materiale, jo mere spredes røntgenstrålerne. Med røntgen kan man derfor let "se" guld, men det er svært at se fx ilt, hvis det er i nærheden af guld, da den stærke spredning fra de tunge guldatomer overdøver spredningen fra de meget lettere ilt-atomer. Ligeledes er det svært fx at se forskel på mangan og jern, da de står lige ved siden af hinanden i det periodiske system, og derfor spreder næsten ens.

Med neutronernes mere komplicerede vekselvirkning med atomkernerne er det derimod let at se oxygen i nærheden af guld, og det er let at se forskel på mangan og jern. På den anden side er intensiteten af røntgenstråler fra synkrotroner mange gange kraftigere, og visse eksperimenter er derfor lettere at lave med røntgen end med neutroner.

### Verdens kraftigste neutronkilde

ESS-faciliteten, der er under opførelse i Lund i Sverige med tilknyttet datacenter i København, bliver verdens langt kraftigste neutronkilde.

ESS er en spallationskilde, hvor intens neutronstråling laves ved at bombardere et tungt grundstof med protoner, der bevæger sig tæt på lysets hastighed. Kilden og instrumenterne er tilsammen så dyre, at de fleste lande ikke kan bygge dem alene. Derfor bygges ESS med Danmark og Sverige som værter og med 15 andre europæiske lande som samarbejdspartnere.

Neutronerne, der produceres, skal benyttes på den bedste måde. Derfor bliver en række forskellige instrumenter placeret rundt om kilden. Tilsammen vil de 22 instrumenter være i stand til at lave

## Nye faciliteter – og instrumenter med et dansk islæt

Alle tre nye faciliteter får instrumenter med et dansk islæt: European Spallation Source skal forsynes med i alt 22 instrumenter, hvoraf de 12 foreløbig er besluttet ud fra en række indsendte forslag. Tre af de accepterede forslag blev fremsat af et dansk-schweizisk konsortium. Derudover er stort set alle neutronguides, der skal anvendes på ESS, designet i Danmark ved brug af det danske simuleringssoftware McStas. Denne ekspertise ligger også bag de helt nye design bag de dansk-schweiziske ESS-instrumenter.

På MAX-IV bliver DANMAX-instrumentet den danske adgangs-

vej til garanteret brug af instrumenter ved faciliteten. Instrumentet designes og bygges på DTU og AU. Det er tanken, at det danske simuleringssoftware McXtrace skal benyttes til design af instrumentet.

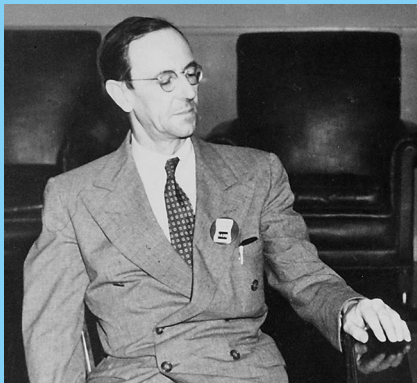
På E-XFEL bliver instrumentet FXE en dansk in-kind leverance, dvs. at arbejdet med design og konstruktion udføres i Danmark for danske midler og gælder som del af det danske medlemskab af E-XFEL. Det er foreslået, at det danske simuleringssoftware McXtrace kan benyttes som del af dataanalysen på FXE-instrumentet.

## Produktion af neutronstråler

Neutronen blev første gang eksperimentelt bekræftet, da englænderen James Chadwick i 1932 lavede forsøg med at sende alfa-partikler ind i beryllium, hvorved der blev dannet kulstof og neutroner.

Til fremstilling af kraftige neutronstråler benyttes i dag to andre metoder: fission og spallation. Fission foregår i en kernereaktor. Her fanges langsomme neutroner af U-235 kerner. Kernen splittes herefter til to nye kerner og udsender samtidig to-tre neutroner. Disse neutroner kan splitte endnu en U-235 kerne og dermed starte en kædereaktion. Den ene neutron benyttes til at opretholde kædereaktionen, mens de andre kan bruges til andet, fx til at foretage spredningseksperimenter.

Spallationsprocessen foregår ved, at protoner accelereres til hastigheder tæt på lysets, hvorefter de rammer en tung atomkerne som fx kviksølv, bly eller wolfram. Det resulterer i en meget ustabil kerne, som hurtigt udsender en sky af både protoner, neutroner og gammastråling. En af fordelene ved spallationskilder er, at der ikke er en kædereaktion, der skal



Neutronen blev teoretisk foreslået i 1920. I 1932 fastlag englænderen James Chadwick med eksperimenter, at neutronen var en partikel med en masse tæt på protonens og uden ladning. Chadwick fik i 1935 Nobelprisen i fysik for opdagelsen af neutronen.

Foto: Los Alamos National Laboratory.

eksperimenter til udforskning af stort set alle typer materialer. I oktober 2014 blev de første 12 instrumenter udvalgt, men der er stadig plads til (mindst) 10 yderligere instrumenter, som forskergrupper og industri senere kan indsende forslag til.

Selve kilden består af en ca. 600 m lang superledende lineær accelerator, der accelererer protoner til en energi på 2,5 GeV (giga-elektronvolt), hvilket svarer til 96 % af lysets hastighed. Protonerne sendes herefter ind i et svinghjul lavet af wolfram med en diameter på 2,5 m og en vægt på næsten 5 ton. Effekten af protonstrålen vil nå op på 5 MW, så hjulet roterer (med 25,5 omdrejninger pr. minut) og er kølet med heliumgas for at forhindre, at det smelter. Når protonerne støder ind i wolframatomerne, sker spallationsprocessen, hvor wolframkerne dele i mindre dele, og der udsendes neutroner. Før neutronerne kan anvendes ved instrumenterne, skal de "køles ned" til lavere energier, hvilket kan gøres med fx vand ved stuetemperatur eller fly-

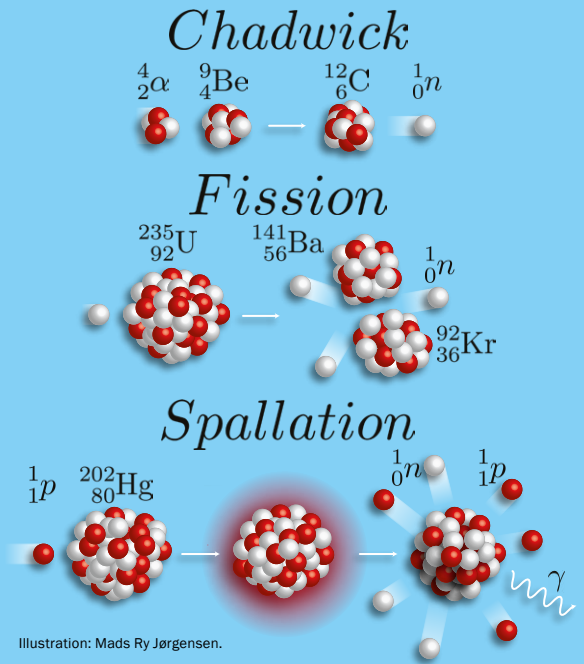


Illustration: Mads Ry Jørgensen.

kontrolleres. Hvis neutronproduktionen skal stoppes, slukkes acceleratoren. Ved både fission og spallation sendes hurtige neutroner ud i alle retninger. Neutronerne skal derefter bremses op, enten i vand eller flydende hydrogen. Derefter er det muligt at guide neutronerne, så de hovedsageligt sendes mod instrumenterne placeret rundt om kilden. Ved ESS i Lund bliver de korteste instrumenter ca. 10 meter lange, mens de længste bliver ca. 160 meter lange.

De første materialevidenskabelige eksperimenter med neutroner blev udført under og lige efter 2. verdenskrig i USA og Canada, som havde bygget kernereaktorer i forbindelse med Manhattan-projektet. Her viste det sig, at neutroner kunne bruges til at studere struktur, magnetisme og gittervibrationer i materialer. Dette arbejde gav Clifford Schull og Bertram Brockhouse Nobelprisen i fysik i 1994.

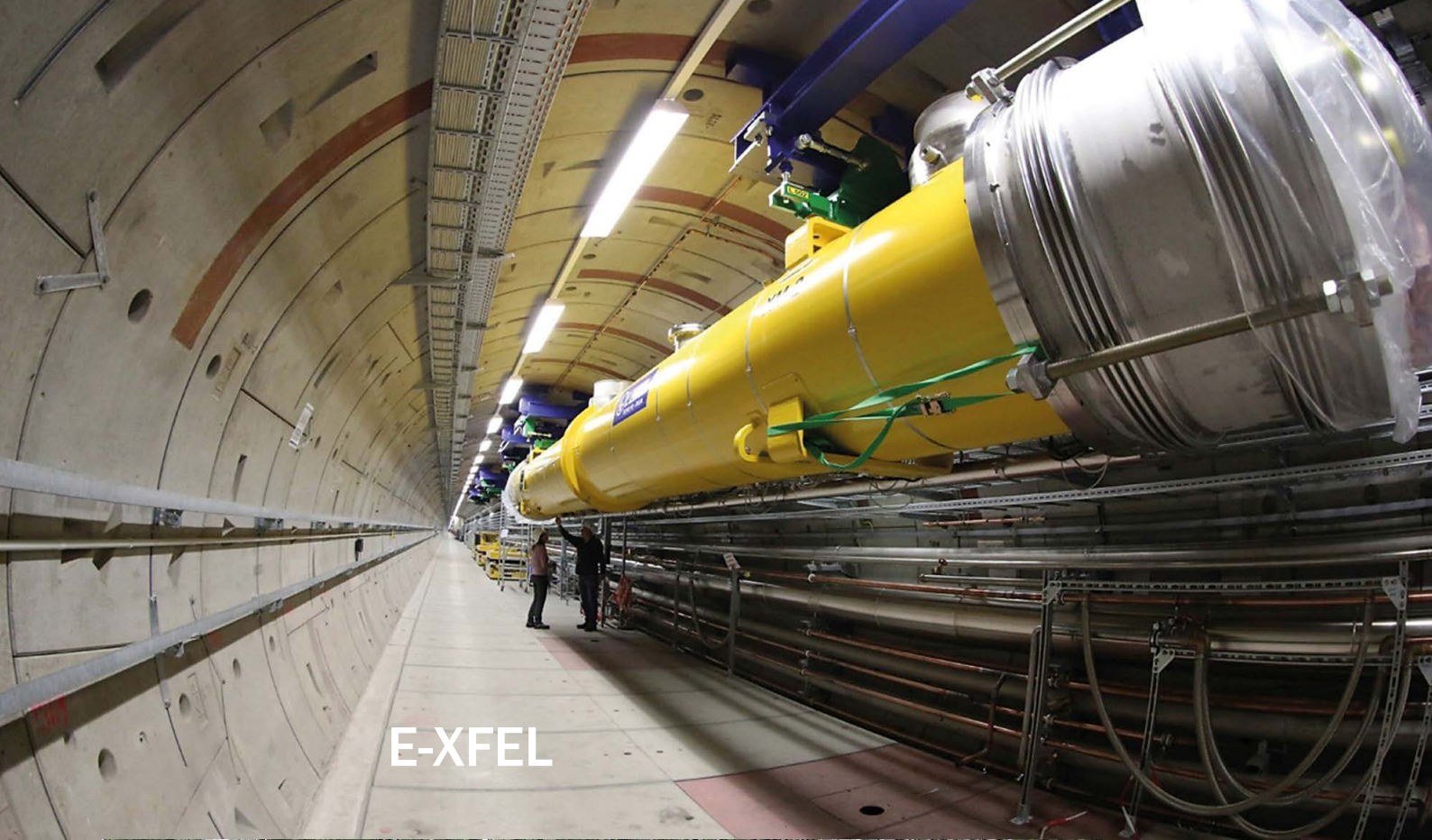
dende brint. Efter "nedkølingen" føres neutronerne vha. neutronguider ud til instrumenterne, som er placeret i forskellige afstande fra kilden – helt op til 160 m væk.

### En kraftig laser – der skyder med røntgenstråling

I lighed med ESS faciliteten er E-XFEL, der er under opførelse nær Hamborg i Tyskland, et stort internationalt projekt med deltagelse af 12 lande, heriblandt Danmark.

Ligesom ESS er E-XFEL og andre røntgenlasere baseret på en lang, lineær accelerator, hvor ladede partikler accelereres op til 17,5 GeV, svarende til en hastighed ganske tæt på lysets. I E-XFEL er de ladede partikler elektroner i stedet for protoner, og i stedet for at ramme et metal, bliver bundter af elektronerne sendt igennem et flere hundrede meter langt magnetsystem, en såkaldt undulator. Magnetterne sætter elektronbundterne i svingninger, og





## E-XFEL



Foto: © DESY 2014

Foto af del af installationen af den 3,4 km lange accelerator på E-XFEL.

Acceleratoren starter ved Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) i Hamburg og løber 3,4 km under jorden til byen Schelefeld.

takket være deres ekstreme hastighed og omhyggeligt skræddersyede egenskaber vekselvirker elektronbunderne kraftigt med det udsendte røntgenlys. Det får elektronerne i et bundt til at danne yderligere mikro-bunder, som alle svinger i takt, hvilket får den udsendte røntgenstråling til at blive tusinder af gange kraftigere. Strålingen fra elektronerne ligner på mange måder laserlys, og derfor kaldes denne type facilitet ofte en fri-elektron-laser.

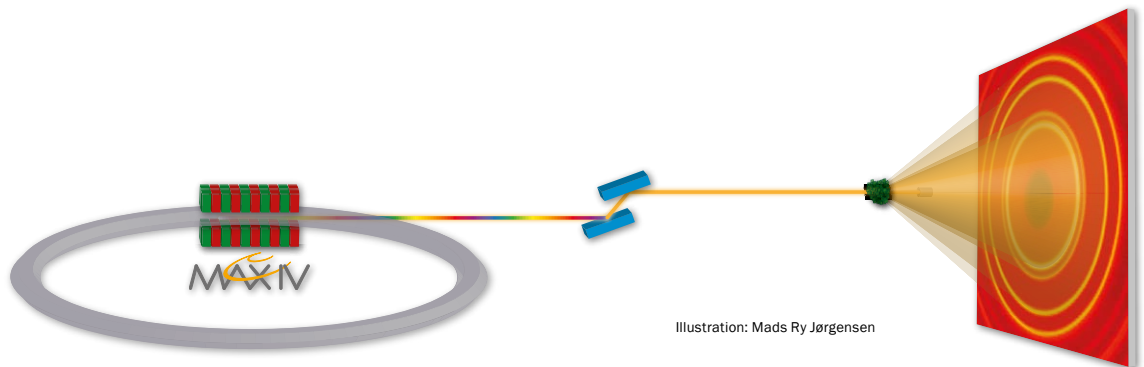
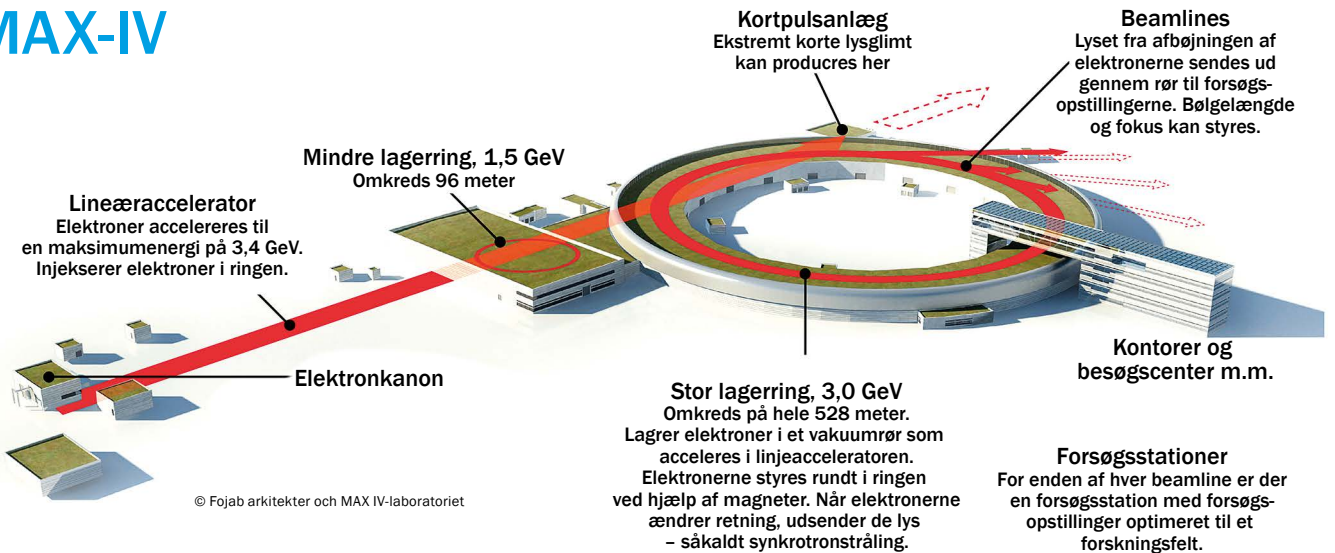
Pulserne af røntgenlys fra en fri-elektron-laser er udover at være utroligt intense også kendetegnet ved at være exceptionelt korte, typisk under 100 femtosekunder (en næsten ufattelig kort tidsenhed, da et femtosekund =  $10^{-15}$  sekunder). Kombinationen af ultra-korte og ultra-intense pulser af røntgen åbner døre til en lang række af eksperimenter, som hidtil har været umulige, og man forventer, at den Europæiske XFEL vil bidrage med banebrydende eksperimenter indenfor mange områder, fra protein-studier til materialefysik og kemi.

Acceleratoren starter ved Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) i Hamburg og løber 3,4 km under jorden til byen Schenefeld, hvor facilitetens 6 instrumenter deler strålingen fra i alt 3 undulatorer. Instrumentet Femtosecond X-ray Experiments (FXE) bliver en dansk leverance til XFEL i et samarbejde mellem DTU Fysik og det danske firma JJ X-ray. Kombineret med et avanceret lasersystem til at "kickstarte" de kemiske reaktioner og bevæbnet med en lang række forskellige detektorsystemer vil dette instrument populært sagt blive i stand til at se ind i selve reaktionspilen i de kemiske reaktionsligninger.

### MAX IV synkrotronen

Lige ved siden af det sted, hvor ESS opføres i Lund, er en anden stor facilitet ved at blive færdiggjort, nemlig MAX IV synkrotronen. I modsætning til de lineære accelerators på ESS og E-XFEL får MAX IV en såkaldt lagring, en ringformet accelerator som både kan accelerere og lagre partikler. I lagringen

## MAX-IV



Skematisk tegning af pulverdiffraktions-beamline, fx i forbindelse med DANMAX på MAX-IV facilliteten. Røntgenstrålingen genereres, når elektronerne i lagringen passerer igennem magnetfelterne i undulatoren. En enkelt bølgelængde

vælges ud vha. en monokromator og sendes ind mod prøven. Røntgenstrålingen vil blive spredt som kegler. Intensiteten og positionen af disse kegler optages på en detektor og kan bruges til at modellere den atomare struktur.

## Røntgenstråling og røntgenkilder

Røntgenstråling er elektromagnetisk stråling ligesom almindeligt synligt lys og radiobølger, men det har en meget kortere bølgelængde: 5 pm til 10 nm. Den korte bølgelængde betyder, at røntgenfotonerne har en høj energi – faktisk så høj, at de kan skade molekyler, herunder vores DNA, og strålingen kaldes derfor ioniserende stråling.

Røntgenstråling kan fremstilles ved hjælp af røntgenrør (som i tyskeren Wilhelm Röntgens oprindelige eksperiment fra 1895), hvor elektroner accelereres mod en anode af metal. Elektronerne bliver bremsede brat, dvs. kraftigt accelereret, når de rammer de tunge metalatomer, og denne acceleration af ladede partikler udsender røntgenstråler. Strålingen fra et røntgenrør er ikke særligt intens, men heldigvis findes der andre måder at accelerere elektroner og derved lave røntgenstråling.

I en synkrotron accelereres elektronerne først i en lineær accelerator op til hastigheder tæt på lysets, hvorefter de skydes ind i en ringformet accelerator (selve synkrotronen), hvor yderligere accelerator-moduler vedligeholder elektronernes

energi, imens meterstore magnetiske elementer rundt om ringen på forskellig vis accelererer elektronerne i buede eller slalom-formede baner. Denne acceleration får elektronerne til at udsende stråling, der er mange størrelsesordener kraftigere end fra et røntgenrør. MAX IV i Lund åbner i 2016 og er en topmoderne synkrotron, der på flere parametre vil slå alle de eksisterende røntgenkilder.

Til at danne intens røntgenstråling kan man også benytte en enkelt, men meget kraftigere, lineær accelerator og en meget lang magnetstruktur med flere tusinde magneter med Nord-Syd pegende skiftevis hver vej, sådan at den stråling, der udsendes fra hver enkelt elektron, kommer i fase. Denne type accelerator kaldes en fri-elektron laser, da røntgenstrålingen har nogle af de samme egenskaber som en laserstråle, og intensiteten er mange gange kraftigere end selv en synkrotron. E-XFEL i Hamborg vil fra 2017 producere stråling, der er så kraftig, at den vil ødelægge mange af de prøver, der sættes ind i strålen. Heldigvis er pulserne så korte, at man kan nå at få et billede, inden prøven ødelægges en brøkdel af et sekund senere.



Verdens første røntgenbillede: Röntgens kones hånd.



## Oversigt over instrumenter med dansk deltagelse

Instrument	Facilitet, status	Forskningsområde	Dansk engagement
CAMEA	ESS, accepteret, ligger i anden fase	Spektrometer, studier af dynamik i komplekse faststofs-systemer som fx superledere, magnetiske materialer med mere.	Designet i Dansk-schweizisk samarbejde mellem DTU, KU, EPFL Lausanne og Paul Scherrer Institutet
DANMAX	MAX-IV, aftale om Dansk-Svensk samarbejde netop indgået	Billeddannelse og diffraktion. Anvendelser indenfor en bred vifte af materialevidenskab, fysik, geologi mv.	Dansk-designet instrument, samarbejde mellem DTU og AU
ESTIA	ESS, accepteret, ligger i første fase	Reflektometri, studier af materiale-overflader.	Danske grupper på SDU og KU er oplagte brugere og gav indspil til science case
FXE	E-XFEL, formel konstruktionsfase påbegyndt	Ultrahurtig dynamik af kemiske systemer.	Dansk-designet instrument, samarbejde mellem DTU og det danske firma JJ-Xray.
HEIMDAL	ESS, accepteret, ligger i anden fase	Multi-disciplin instrument til strukturundersøgelser på flere skalaer, kombinerer diffraktion, småvinkelspredning og imaging.	Designet i Dansk-schweizisk samarbejde mellem AU, KU, og Paul Scherrer Institutet
LOKI	ESS, accepteret og formel konstruktionsfase påbegyndt	Småvinkelspredning på bløde materialer, herunder biologiske systemer.	ESS-designet instrument, med Danske interessenter fra bl.a. KU
MIRACLES	ESS, ansøgning netop indsendt	Spektrometer, studier af komplekse systemers dynamik, fx i glasser, biologiske systemer og brintlagring.	Designet i samarbejde mellem KU og ESS. Oplagte brugere på både RUC, KU og DTU
ODIN	ESS, accepteret og formel konstruktionsfase påbegyndt	Billeddannelse og diffraktion. Anvendelser indenfor en bred vifte af materialevidenskab, fysik, geologi mv.	ESS-designet instrument, med danske interessenter fra bl.a. KU og DTU

producerer MAX IV ekstremt intens røntgenstråling ved hjælp af elektroner med en energi på 3 GeV. MAX IV benytter specielle magneter i lagringen og kan derfor producere endnu mere intens røntgenstråling end andre lignende synkrotroner. Den intense stråling er specielt velegnet til såkaldt in-situ materialeforskning, hvor man undersøger materialer i realtid og under realistiske arbejdsbetingelser. Et eksempel kunne være op- og afladning af et batteri.

Samtidig gør de specielle magneter i MAX IV, at røntgenstrålerne kan fokuseres ned til få nm. Herved kan man undersøge struktur og egenskaber i meget små områder i en prøve.

Forsøgene med røntgenstrålingen foregår ved en række individuelle instrumenter (instrumenter koblet på synkrotroner kaldes "beamlinjer"), der er placeret hele vejen rundt om lagringen. Hver af disse beamlinjer koster omkring 100 mio. kr., men der er alligevel stærk konkurrence om hvilke forskningsfelter/metoder, der skal have prioritet, da der kun er plads til ca. 20. Nogle af de planlagte beamlinjer ved MAX IV er allerede reserverede til specifikke instrumenter og metoder, mens andre stadig er åbne over for forslag fra forskningsinstitu-

tioner og industrielle udviklingsafdelinger.

En række danske materialeforskere er gået sammen og har stillet forslag om, at Danmark bygger en beamlinje til materialeforskning på MAX IV (kaldet DANMAX), der skal kunne bruges til eksperimenter med imaging og såkaldt pulverdiffraktion. Beamlinjen fokuserer på rigtige materialer under realistiske betingelser målt i realtid. En stor del af arbejdet bliver derfor at udvikle prøvemiljøer og eksperimentelle opstillinger, hvor forskerne kan opnå de ønskede betingelser og samtidig få eksperimentelle data af høj kvalitet.

### Valuta for skattekrone

Ved at anvende neutron- og røntgenstråling – og ofte i kombination – er man i stand til at undersøge en mængde materialer og besvare vigtige videnskabelige spørgsmål indenfor mange fagområder, fx. fysik, kemi, biologi, medicin, geologi, arkæologi og ingeniørvidenskaberne. Materialeforskning er en vigtig brik i løsningen af mange store samfundsudfordringer indenfor energi, sundhed, miljø, osv. Så formentlig har bidragsyderne til ESS, MAX-IV og X-FEL, altså Europas skatteborgere, fået valuta for pengene, når regnskabet skal gøres op om 40-50 år. ■

### Læs/lær mere:

Mere om ESS:  
<http://europenspallation-source.se>

Her kan man finde både film om faciliteten og 360° visualisering

Film om MAX-IV  
<http://vimeo.com/57051515>

Mere om XFEI  
<http://www.xfel.eu>

Hvis man skal forstå forskellen på en glas og en væske er det ikke nok at vide, hvordan atomerne sidder placeret, man skal også vide hvordan de bevæger sig. Det kræver, at man kan studere glas og væske på den rigtige længdeskala og på den rigtige tidsskala. En teknik kaldet uelastisk neutronspreddning er helt unik til det formål.

# Et tidsmikroskop

## - oplev verden på et nanosekund

Når man kigger på verden, opdager man noget forskelligt alt efter, hvilken længdeskala man ser på. Valget af længdeskala er derfor helt fundamentalt i ethvert naturvidenskabeligt studie, og det sætter rammerne for, hvad vi kan undersøge. I praksis vælges længdeskalaen for et studie ofte, når man vælger, hvilken måleteknik man vil bruge. Fx kan en lineal måle noget, der er nogle centimeter langt, mens den egner sig dårligt til at måle afstande på mange kilometer eller få mikrometer. En fuldstændig beskrivelse af et system kræver typisk, at systemet studeres på mange længdeskalaer, og derfor må man bruge forskellige metoder. Et elektronmikroskop kan ikke fortælle noget om, hvor stort arealet af Amazonas er, og satellitfotoer kan ikke fortælle noget om, hvordan planternes grønkorn er opbygget.

Tid spiller en tilsvarende rolle: Man ser noget forskelligt alt efter, hvilken tidsskala man studerer et fænomen på. Den simpleste måde at ændre tidsskala er ved at vise film i forskellige hastigheder. Hvis man vil se, om der er offside i fodbold, bruger man slowmotion, men hvis man vil se en plante vokse, må man i stedet lave et time-lapse, hvor en måneds film vises i løbet af et par minutter.

### Længder og tid i materialeforskningen

Hvis vi indskrænker os til materialeforskning er der stadig mange længdeskalaer på spil. Der er fx kemiske bindinger på Ångstrømskalaen (0,000000001 m eller 0,1 nanometer (nm)). Der er krystalitter og biologiske celler, som er mikrometer store. Og der er lufthuller, revner eller andre uregelmæssigheder på millimeterskalaen. Hvis hårdheden, holdbarheden

og elasticiteten af eksempelvis træ, asfalt eller en kage skal beskrives og forstås fuldstændigt, er man derfor nødt til at dække skalaer fra 0,1 nm til 1 cm, og det kræver mange forskellige måleteknikker.

Når det, der skal måles, ikke er en struktur, men en bevægelse eller en ændring i strukturen, skal der bruges nogle andre redskaber. De fleste metoder til at måle ændringer går essentielt ud på, at man måler den samme størrelse med et bestemt tidsinterval. Man laver altså en slags film af det, der foregår.

I ethvert givent studie skal man altså bruge både den rigtige tidsskala og den rigtige længdeskala. For fx at undersøge, om arealet af Amazonas vokser eller bliver mindre, skal man studere på en længdeskala i omegnen af 100 kilometer og på en tidsskala, der er omkring et par år. Man får ikke svaret ved at filme ét enkelt træ i fem år for at se, om det bliver fældet eller ej – her er tidsskalaen rigtig, men længdeskalaen forkert, for selvom dette ene træ stadig står der, kan resten af skoven jo være forsvundet. Det hjælper heller ikke at lave en satellitfotofilm af en times varighed – så er længdeskalaen rigtig, men tidsskalaen forkert. Det rigtige valg er at lave en satellitfotofilm, hvor der bliver taget et billede hver måned i løbet af nogle år. Det virker måske simpelt nok at vælge længde- og tidsskala i dette eksempel, men hvis man forsker i endnu ukendte fænomener, kan man let komme til at kigge det helt forkerte "sted" på tids- eller længdeskalaen.

Der er ikke en én-til-én-sammenhæng mellem, hvad der er den relevante tidsskala og længdeskala,

#### Forfatterne



Kristine Niss, lektor  
kniss@ruc.dk



Henriette Wase Hansen,  
ph.d.-studerende  
hwase@ruc.dk

Begge ved forskningscentret Glas og Tid, NSM, RUC





## Længde- og tidsskalaer

For at studere et givet fænomen skal man studere verden ved en bestemt længdeskala og en bestemt tidsskala. Det er illustreret i diagrammet med længde på x-aksen og tid på y-aksen (bemærk, at skalaen er logaritmisk).

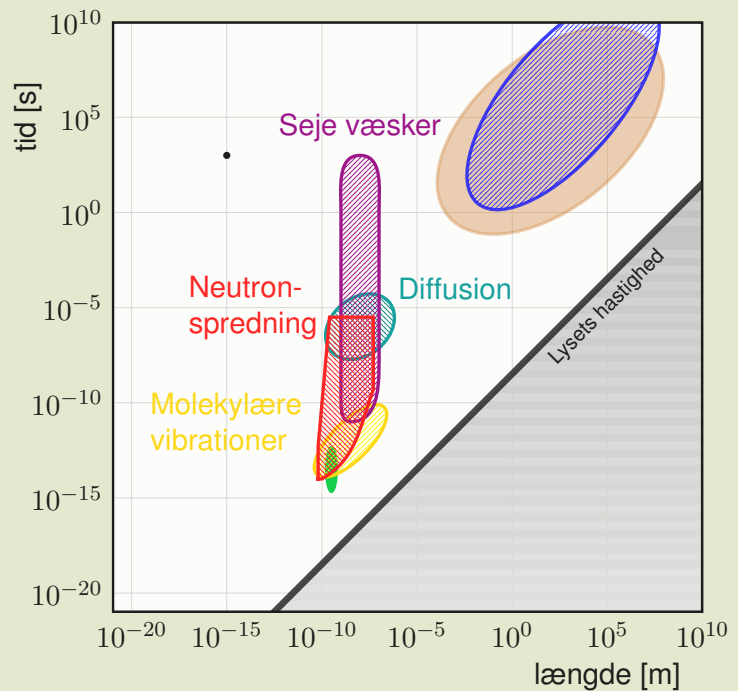
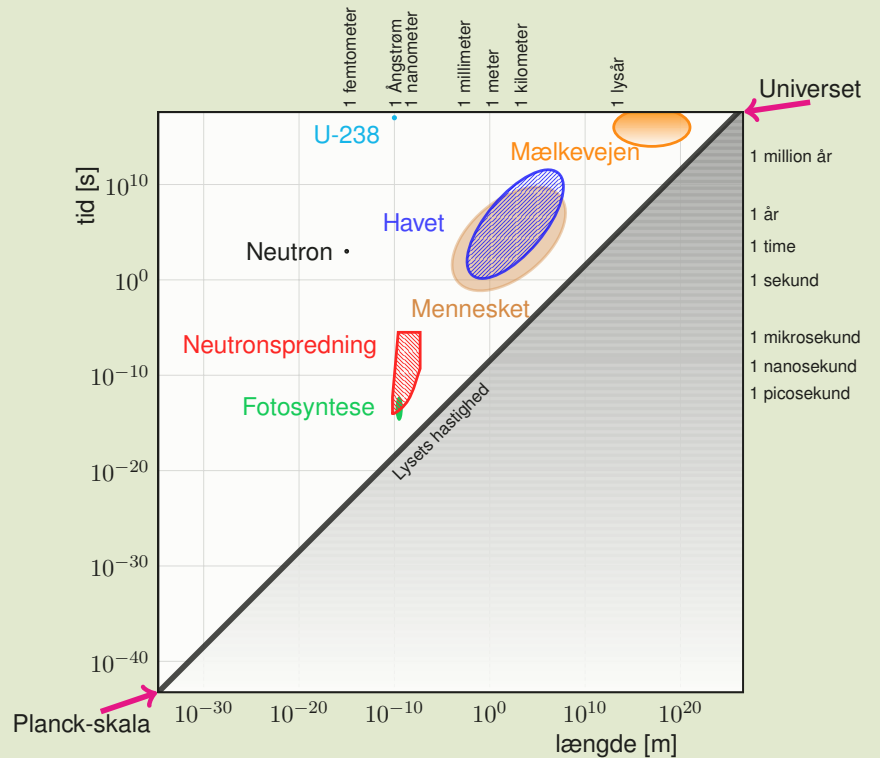
Figurens øverste højre hjørne er den længste tid, man kender, og det største man ved noget om: universets alder og det synlige univers' størrelse. I det nederste venstre hjørne ses det mindste, kvantemekanikken tillader: Planck-længden og Planck-tiden. Man ved ikke meget om, hvad der findes på disse ultramikroskopiske skalaer.

Lysets hastighed, som benævnes  $c$ , bliver til en ret linje med hældning én i denne figur. Den nederste højre halvdel af figuren er et "forbudt område", fordi intet kan bevæge sig hurtigere end lysets hastighed.

For de fleste ting er det lidt en smagssag, hvor man præcis vil placere dem på figuren. Vi har fx valgt, at menneskets længste tid er 100 år, mens den korteste er 0,01 sekund, som er den korteste tid, vi kan sanse uden teknisk hjælp. På figuren ses, at mennesket og havet "lever" på ca. samme tids- og længdeskala, mens mælkevejen er meget langsommere og større, og fotosyntesen er meget mindre og hurtigere. Som eksempler på meget små ting, der ændrer sig meget langsomt, har vi indtegnet uran-isotopen 238, et atom, som har en meget lang halveringstid, der er næsten lige så lang som universets alder. Den frie neutron er også indtegnet; den henfalder i løbet af ca. et kvarter.

Neutronspreddning kan "se" ting, der i længde og tid ligger inden for det røde område. I den nederste version af figuren har vi zoomet ind på dette område. Vi har samtidig indtegnet nogle af de forskellige atomare og molekylære processer. Som man kan se, er der et kæmpe overlap, mellem det neutroner "ser", og det område, som er vigtigt for at forstå atomer og molekylers strukturer og bevægelser. Derfor er neutronspreddning en meget vigtig teknik.

Det lille område illustrerer bevægelser i glasdannende væsker. Bevægelserne strækker sig over et stort område på tidsskalaen, mens det ikke fylder ret meget på længdeaksen. Denne udstrækning over tid kombineret med en snæver længdeskala er en af grundene til, at glasdannende væsker er et udfordrende og spændende grundvidenskabeligt forskningsområde. Vi mangler en fundamental forståelse af, hvorfor molekylerne bliver så langsomme, uden det involverer strukturer over store længder.

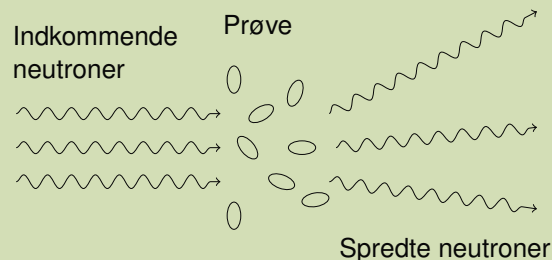


## Uelastisk neutronspreddning

I neutronspreddningseksperimenter sender man en stråle af neutroner ind på en prøve, fx en væske. Neutronerne støder sammen med atomkernerne i prøven. Stødet kan enten være elastisk eller uelastisk. Hvis stødet er elastisk, og der ikke bliver overført energi, kan man få information om, hvor atomerne er: strukturel information. Hvis stødet er uelastisk, og der er overførsel af energi, kan man få information om atomernes bevægelser: dynamikken.

Ved uelastisk neutronspreddning kan man sige, at man sætter atomerne i prøven i bevægelse. Man kan sætte gang i forskellige bevægelser ved at vælge forskellige bølgelængder af neutronerne, fordi bølgelængden og energien hænger sammen. Ved at vælge forskellige bølgelængder eller energier kan man både lære noget om små bevægelser, der kun kræver lidt energi at sætte i gang, og større bevægelser, der kræver meget energi at sætte i gang.

En neutrons bølgelængde er typisk i størrelsesordenen 1 Ångstrøm. Det svarer til en energi på ca. 1 kJ/mol. I neutronspreddning bliver energien ved hjælp af Plancks konstant målt i frekvens, altså pr. sekund. Det betyder, at ligesom der



er en særlig længdeskala, vi kan bruge neutronerne til at studere, er der en særlig tidsskala, som vi kan bruge neutronerne til at se. Den tidsskala hænger sammen med energien og bølgelængden på neutronen. En energi på 1 kJ/mol svarer til, at neutronerne kan se atomerne bevæge sig med en frekvens i terahertz (tusind milliarder bevægelser pr. sekund). Eller sagt på en anden måde: Neutronerne kan se atomernes bevægelser, som kun tager tusind milliardtedele af et sekund.

men ofte er det sådan, at ændringerne i store ting er langsomme, mens ændringerne i små ting er hurtige.

### Uelastisk neutronspreddning – et tidsmikroskop

Når man ser på ændringer af strukturer i materialer, kan man også i nogen grad bruge teknikken med at filme, men hvis man virkelig vil studere de fundamentale bevægelser af atomer og molekyler er filmemetoden ofte ubrugelig, fordi det ikke er muligt at tage billeder eller måle hurtigt nok. Med neutronspreddning kan vi se tider, der er meget korte. Det er det, vi mener med titlen “Tidsmikroskop”. Neutronerne zoomer så at sige tidsligt ind på verden og viser noget, der foregår så hurtigt, at det aldrig ville kunne registreres med vores sanser. Vores sanser gør, at vi kan registrere ting ned til en hundrededel af et sekund. Med neutroner kan vi imidlertid studere bevægelser, der sker helt ned til en tusindedel af en milliardtedel af et sekund, som også hedder et picosekund ( $10^{-12}$ ). Det er ufatteligt kort tid.

Neutronspreddning giver både tidslig og stedslig information, men ligesom andre teknikker kan neutronspreddning kun sige noget om ting på en

bestemt skala i både tid og sted. Det fantastiske er, at det område, der kan undersøges med neutronspreddning, har kæmpe overlap med det område, som er væsentligt for at forstå atomer og molekylers strukturer og bevægelse i materialer, flydende stoffer, biologiske systemer osv.

### Seje væsker og glas

Vores forskning handler om glas og glassdannende væsker. Med “glas” mener vi noget meget mere generelt, end man gør i daglig tale. På fysikersprog er glas alle mulige faste stoffer, der ikke er krystallinske. Man siger nogle gange, at glas er en slags væske. Det er både lidt rigtigt og helt forkert. Hvis man kigger på atomernes placering i stoffet, så ligner glas præcis en væske. Atomerne ligger huller til bulter i modsætning til i normale krystallinske, faste stoffer, hvor atomerne sidder i et fint gitter. Forskellen på en glas og en væske ligger ene og alene i, hvordan atomerne bevæger sig i forhold til hinanden. I en væske fiser de rundt på må og få, mens de i en glas sidder fast og vibrerer lidt.

Glas dannes ved at køle en væske ned til en bestemt temperatur, som afhænger af det konkrete materiale. Lige over denne temperatur er væsken meget sej.



Det vil sige, den flyder som en væske, men det går virkelig langsomt. Når stoffet er i denne tilstand – altså den seje væske – sker der noget interessant med dynamikken. Den spreder sig ud som en slags vifte, og der foregår bevægelser på rigtig mange tidsskalaer. Det helt særlige er, at de relevante længdeskalaer ikke strækker sig over et ret stort spænd. De mindste længder er ca. 1 nm, altså størrelsen af et lille molekyle. Den længste relevante længdeskala er 100 nm, og hvis man opbevarer væsken i en æske, der er 100 nm x 100 nm x 100 nm, vil den opføre sig præcis, som hvis man havde den i en mælkekarton. På den måde spiller længdeskalaen en mindre rolle. På den tidlige akse strækker dynamikken sig samtidig enormt meget ud. Der sker vibrationer med en svingningstid på blot nogle få picosekunder, mens atomernes placering i forhold til hinanden, den mikroskopiske struktur, ændres i løbet af flere timer. Det er de langsomme strukturelle ændringer, som fører til, at væsken kan flyde, omend sejt og langsomt.

### Hurtige bevægelser styrer de langsomme

Vores og andres forskning viser meget overraskende, at de hurtige og langsomme bevægelser hænger sammen. Vi har målt molekyllernes hurtige (picotil nanosekund) bevægelser med neutronspreddning ved forskellige temperaturer og tryk. Bagefter

har vi målt de langsomme strukturelle ændringer ved de samme temperaturer og tryk, og det viser sig, at de hurtige bevægelser tilsyneladende har helt afgørende betydning for, hvordan væsken flyder i løbet af den næste time. De langsomme strukturelle ændringer, som fører til, at væsken flyder, er tusind milliarder gange langsommere end de hurtige bevægelser målt med neutronspreddning. Det svarer altså til, at det, der sker i løbet af et minut, er styrende for, hvad der sker de næste par millioner år. Umiddelbart lyder det helt urimeligt, men vi tror, at det skyldes, at de langsomme ændringer ikke er kontinuerte. Der sker altså ikke hele tiden noget meget langsomt, i stedet er det sjældne, små hurtige ændringer, som styrer selv de meget langsomme ændringer.

Der er stadig mange ting, vi ikke forstår omkring de seje væsker og glas, og der ligger meget forskning forude. Forskningen handler både om de dybe grundlæggende spørgsmål, og om hvordan glasformen kan give nye muligheder i alt fra medicinalindustri til vejbelægning. Det meste af det, der skal undersøges, er knyttet til bevægelser og ændringer i væsken, og noget tyder altså på, at særligt de hurtige ændringer er meget vigtige. Derfor er uelastisk neutronspreddning en helt central teknik i vores arbejde. ■

### Videre læsning

Glas – den fjerde tilstandsform. Aktuell Naturvidenskab nr. 2/2006. f

Blogindlæg v. Kristine Niss om hvorfor glasformen er vigtig for medicinalindustrien: [hvidenskab.dk/blog/glas-fysik-og-fremtidens-medicin](http://hvidenskab.dk/blog/glas-fysik-og-fremtidens-medicin)

Artikel om hvordan glasforskning har betydning for udvikling af bedre asfalt der kan reducere CO<sub>2</sub>-udledningen: [videnskab.dk/kultursamfund/bedre-asfalt-skal-reducere-co2-udledningen](http://videnskab.dk/kultursamfund/bedre-asfalt-skal-reducere-co2-udledningen)

Link til virkelig fin animation af længdeskalaer af Cary og Michael Huang, "The Scale of the Universe": [htwins.net/scale2](http://htwins.net/scale2)

Annonce:

## Matematikvejlederuddannelsen

”Man får lyst og mod til at prøve nye undervisningsmetoder”

Vi kender dem alle. Flittige og arbejdssomme gymnasieelever der alligevel snubler over de matematiske problemer - både i faget matematik og i de mange matematikafhængige fag.

### Kort om uddannelsen

Matematikvejlederuddannelsen giver redskaber til at fjerne snublestenene for elever med læringsvanskeligheder.

Uddannelsen viser via simple tests, hvordan du identificerer og diagnostiserer de elever, der har problemer.

Gennem arbejdet med miniprojekter bliver undervisningen gjort praksisnær, og du kan fra første semester hjælpe dine elever med læringsvanskeligheder til en ny forståelse af matematikfaget.

”Man får et helt andet perspektiv på egen undervisning. Matematikvejlederuddannelsen forsyner os med et begrebsapparat og en praktisk erfaring, der gør os bedre i stand til at forstå eleverne.

Det er tankevækkende hvor usikker, selv de dygtigste elevers matematiske viden er. Uddannelsens teoretiske indhold har hjulpet mig til at forstå problemernes karakter. Det er meget berigende”

Jørgen C. Ebbesen, cand. scient.  
Marie Kruses Skole



## Roskilde Universitet

Læs mere på om uddannelsen på [matematikvejleder.ruc.dk](http://matematikvejleder.ruc.dk)



# Magnetoelektriske materialer finder vejen til fremtidens IT

I magnetoelektriske materialer er magnetiske og elektriske egenskaber sammenkoblede på en måde, der er interessant i forbindelse med fx udvikling af fremtidens harddiske. At forstå de magnetoelektriske materialer i detalje er dog en grundvidenskabelig og materialekemisk udfordring.

Intidens computere lagrer man information på to forskellige måder. På en harddisk lagrer man informationen *magnetisk*. Det sker ved brug af mikroskopiske stangmagneter, som kan vendes i to forskellige retninger svarende til de logiske nulle og et-taller alle computere bruger til at arbejde information. Magnetisk lagring er permanent og kræver ingen strøm for at blive opretholdt. Til gengæld tager det relativt lang tid at skrive og læse information på denne måde. Læse- og skrivehastigheden kan øges væsentligt, hvis information lagres *elektrisk*. Det kan man gøre ved at fylde beholdere, såkaldte kondensatorer, op med elektrisk ladning. Fyldte og tomme beholdere repræsenterer da et-taller og nulle. Sådan foregår informationslagring i de RAM-enheder, der sidder i alle computere. At læse og skrive information foregår nu lynhurtigt, men elektrisk ladning er flygtig; Slukker man for kredsløbene, taber man sin information. En hukommelsesteknologi, der kombinerer RAM-enhedens læse- og skrivehastighed med den magnetiske lagrings permanente karakter, ville derfor med ét slag kunne fjerne én af de store flaskehalse i moderne computerteknologi.

Informationslagring er blot en af mange mulige anvendelser af de såkaldte *magnetoelektriske* materialer, hvor de elektriske og magnetiske egenskaber er sammenvævede og vekselvirker med hinanden. En sådan kobling har nogle usædvanlige konsekvenser. Fx kan man påvirke et materiale med et ydre magnetfelt og derved ændre dets elektriske egenskaber, eller man kan påvirke et materiale med et ydre elektrisk felt og ændre dets magnetiske egenska-

ber. Sådanne "håndtag" på elektriske og magnetiske egenskaber giver oplagte muligheder for ny teknologi. Andre eksempler på mulige anvendelser af magnetoelektriske materialer er meget præcise sensorer og hukommelseenheder med 4 logiske tilstande (0, 1, 2 og 3) bestemt af den magnetiske og den elektriske tilstand.

Før det teknologiske potentiale kan forløses er det dog nødvendigt at forstå og katalogisere de mulige mikroskopiske mekanismer bag den magnetoelektriske kobling. Til dette grundvidenskabelige formål er neutronspredning et afgørende værktøj, da det er essentielt at have information om sammenhængen mellem krystalstruktur på den ene side og magnetisk struktur og dynamik på den anden. Netop studiet af magnetisme er iblandt neutroners specifikke styrker.

## Elektrisk og magnetisk polarisation

Materialers magnetiske og elektriske egenskaber afhænger i meget høj grad af, hvordan atomerne i materialet sidder i forhold til hinanden. For at et krystallinsk materiale kan udvise en *elektrisk polarisation*, er det nødvendigt, at de positivt ladede ioner i krystalstrukturen forskyder sig i forhold til de negativt ladede ioner. Det giver i så fald materialet en elektrisk plus-pol og en minus-pol ligesom i et batteri.

*Magnetisk polarisation* er det, de fleste forstår ved magnetisme, og som vi fx anvender, når vi sætter indkøbsbæltet fast på køleskabsdøren. De magneter, der finder anvendelse hér, er såkaldte *ferromagneter*. På atomart plan skyldes ferromagnetisme (og

### Forfatterne



Rasmus Toft-Petersen, Instrument-ansvarlig Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Tyskland  
rasmus.toft-petersen@helmholtz-berlin.de



Ellen Fogh, ph.d.-studerende Institut for Fysik, DTU  
elfogh@fysik.dtu.dk



Niels Bech Christensen, seniorforsker, Institut for Fysik, DTU.  
nbch@fysik.dtu.dk

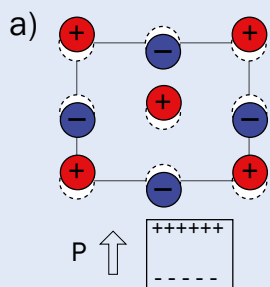




Forsigtigt nedsænkes en krystal af det magnetoelektriske materiale  $\text{LiCoPO}_4$  i en 15 Tesla magnet på det dansk-byggede RITA-II tre-akse spektrometer, som står på Paul Scherrer Institutet i Schweiz. Neutronerne kommer ud af den grønne cylinder til højre, og detekteres i den gule analysatortank til venstre.

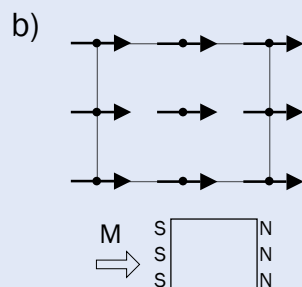
Foto: Katrine Sejling Haaning

## Elektrisk polarisation samt magnetisering



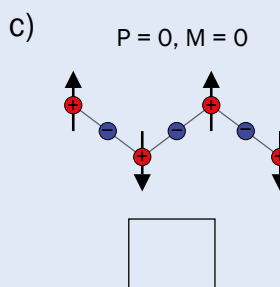
Elektrisk polarisation

a) Når de negativt (blå) og positivt ladede (røde) ioner forskydes sig i forhold til hinanden, opstår der en elektrisk polarisation,  $P$ , vist med den hvide pil. Den lille kasse viser den overordnede ladningsfordeling.



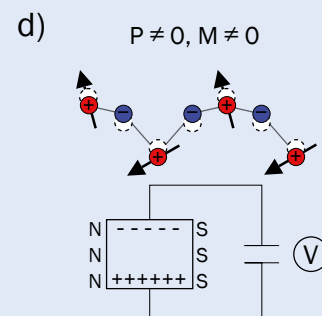
Magnetisering

b) Når ionernes spin peger i samme retning har materialet en magnetisering,  $M$ , dvs. det har en magnetisk nordpol og en sydpol.



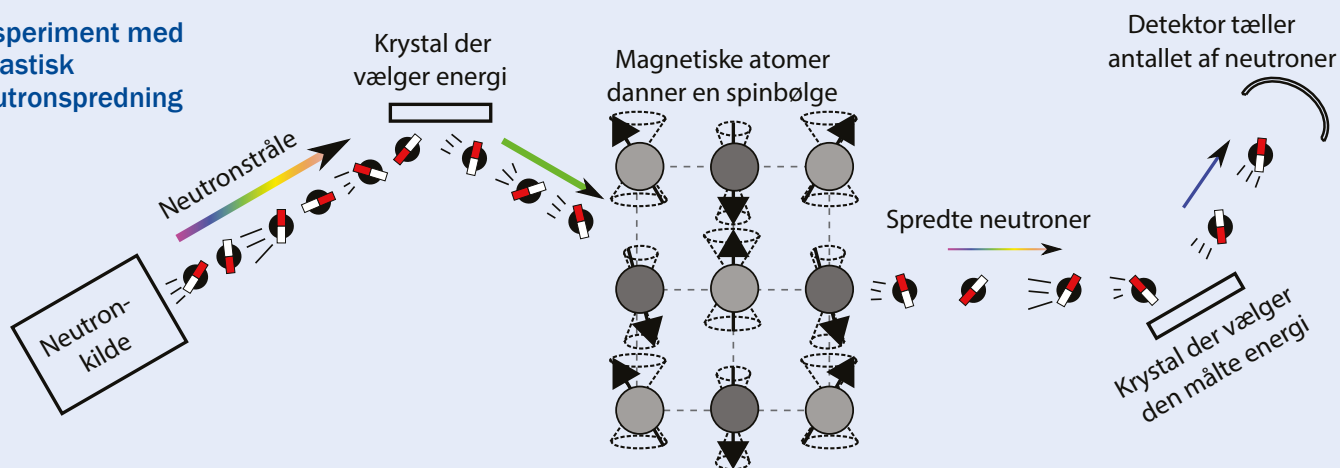
Et magnetoelektrisk materiale under ordningstemperaturen,  $T < T_0$

c) Når man ikke påvirker det magnetoelektriske materiale med et ydre magnet- eller elektrisk felt er både den elektriske polarisering og magnetiseringen nul.



d) Hvis man derimod påtrykker fx et elektrisk felt bliver begge disse størrelser forskellige fra nul.

## Eksperiment med uelastisk neutronspredding



Figuren viser et eksperiment med såkaldt uelastisk neutronspredding: En neutronkilde producerer en stråle af neutroner med forskellige energier. Med en særlig krystal udvælges neutroner med én bestemt energi og sendes imod prøven. Inde i prøven vekselvirker neutronernes spin (vist som små stangmagneter) med de exchange-koblede

atomare spins (vist med pile hvis retning varierer i en spinbølge-tilstand) hvilket ændrer neutronernes retning og energi. Neutroner med en energi, der udvælges vha en anden krystal, sendes endelig til en detektor. På den måde kan man finde forskellen i energi på de indkommende og spredte neutroner.

de mere komplicerede former for magnetisme, som ofte findes i magnetoelektriske materialer), at visse atomer i det periodiske system danner magnetiske ioner, når de indgår i kemiske forbindelser. Vi kan tænke på magnetiske ioner som små stangmagneter med en nord- og en sydpol i analogi med jordens magnetiske poler. Ofte angives en magnetisk ion med en lille pil (kaldet et *spin*), der peger fra den magnetiske sydpol til den magnetiske nordpol.

### Exchange-vekselvirkninger og magnetisk struktur

Når to sådanne ioner sidder i nærheden af hinanden aktiveres en pudsigt kvantemekanisk vekselvirkning kaldet *exchange*, som har den effekt, at de relative orienteringer af ionernes spin bliver gensidigt afhængige. Fokuserer vi fx på to nabo-atomer i et jernkrystal, kan disse vinde energi, hvis spinnene peger i samme retning. Det samme vil gælde for *alle* nabo-par, så netto-effekten af exchange-vekselvirkningen i jern er, at alle spin gerne vil være parallelle. Magnetfelterne fra hver af de atomare stangmagneter adderer derfor op til et makroskopisk magnetfelt, som vi kan bruge til at fæstne en magnet til en køleskabsdør eller til at gemme information på en harddisk.

I andre materialer giver exchange-vekselvirkninger anledning til langt mere komplicerede strukturer, der ikke nødvendigvis resulterer i et makroskopisk magnetfelt, og derfor kræver mere sofistikerede detektionsteknikker. Fx findes der *antiferromagneter*, hvor alle nabo-spins er antiparallelle, eller *spiral-strukturer*, hvor de atomare magneter danner strukturer, der mest af alt minder om den velkendte DNA-helix. Neutroner er følsomme over-

for sådanne strukturer, idet de spredes på en måde, der er en præcis signatur af, hvordan retningen og styrken af magnetfeltet fra de atomare spins varierer på atomar skala. Det forhold sætter os i stand til fuldkommen at bestemme materialers magnetiske struktur med neutronspredding.

### Atomernes placering er altafgørende

Alt dette kan dog kun lade sig gøre, når spinnene har fundet sig til rette i en ordnet struktur, men for en given styrke af exchange-vekselvirkningerne sker dette kun under den såkaldte *magnetiske ordningstemperatur*, som vi her kalder  $T_O$ . For temperaturer, der er højere end  $T_O$  roterer spinnene rundt i alle retninger uafhængigt af hinanden. Størrelsen af  $T_O$  er bestemt af styrken af exchange-vekselvirkningerne, og disse afhænger på afgørende vis af den indbygdes placering af atomerne, dvs. af krystalstrukturen. Denne magnetiske orden har afgørende betydning for den magnetoelektriske mekanisme.

Ved at lægge et elektrisk felt på et magnetoelektrisk materiale ændres atomernes indbygdes placering. Dermed ændres vekselvirkningerne imellem magnetiske ioner, og det kan give anledning til ændringer i den magnetiske struktur. Denne ændring i strukturen kan være at alle spinnene drejer i samme retning og producerer en magnetisering af materialet – præcis som i jern. Sådant kan man kontrollere magnetiske egenskaber på elektrisk vis.

Selv når fysikerne har identificeret sammenhængen mellem krystalstruktur og magnetisk struktur, resterer der dog et praktisk problem: Den magnetoelektriske effekt er kun til stede for temperaturer under  $T_O$ , som i et givet materiale kan være langt



under stuetemperatur. En afgørende materialekemi udfordring med henblik på teknologisk udnyttelse i fremtidens elektronik er derfor at identificere materialer, hvor exchange-vekselvirkningerne er så stærke, at den magnetoelektriske effekt er til stede ved stuetemperatur. Med andre ord er det ikke nok at kende krystalstruktur og magnetisk struktur. Det er også nødvendigt at kunne måle styrken af exchange-vekselvirkningerne. Men hvordan finder man disse?

Her kommer neutronspredning virkelig til sin ret, da neutronerne har netop den rette energi til at anslå magnetiske bølger i perfekt ordnede spingitre: På grund af exchange-vekselvirkningerne vil en drejning af ét spin bort fra dets foretrukne retning forplante sig til nabo-spinnene, hvorved en såkaldt *spinbølge* udbreder sig i materialet i analogi med en bølge på en guitarstreng. Sammenhængen imellem bølgelængden (tonen) og energien af spinbølger giver information om vekselvirkningerne i selv meget komplekse systemer af magnetiske ioner, og kan som noget helt unikt måles direkte ved hjælp af en teknik kaldet uelastisk neutronspredning. Her findes bølgens energi som forskellen mellem energien af de indkommende og spredte neutroner. Med styrken af exchange-vekselvirkningerne som sidste brik i puslespillet kan man opnå en udtømmende forståelse af de mekanismer, der på atomart niveau ligger bag magnetoelektriske materialers egenskaber.

### Udsigt til gennembrud

Men præcis hér, hvor neutronspredning giver os information, der ikke er tilgængelig med nogen andre eksperimentelle teknikker, afslører den også sin største svaghed: Der er ikke nok neutroner! Sandsynligheden for at anslå en spinbølge er så lille, at kun én ud af omkring hundrede millioner neutroner får æren. Konsekvensen er, at de observerede signaler er svage, og at der derfor kan være potentielt afgørende detaljer, som drukner i støjen. Den manglende følsomhed overfor detaljer har været en flaskehals i forhold til at forstå de magnetoelektriske materialer til bunds og dermed for at kunne anvende dem til teknologiske formål.

European Spallation Source (ESS) i Lund vil give os adgang til enorme neutronintensiteter, og kombineret med nye forbedrede instrumenter vil det uden tvivl føre til afgørende gennembrud. Danske og schweiziske forskere samarbejder om at konstruere et instrument, CAMEA, der specifikt er designet til studier af spinbølger og vibrationer af krystalgitteret. Flere andre instrumenter vil tillade detaljerede studier af magnetiske strukturer. Der er derfor rige muligheder for, at danske fysikere og syntese-kemikere vil kunne udnytte den geografiske nærhed til ESS og bidrage afgørende til udviklingen af magnetoelektriske materialer, der kan finde vej til fremtidens harddiske. ■

### Videre læsning...

Tre tigerspring for materialeforskningen. *Aktuel Naturvidenskab* nr. 1/2015

Mere om uelastisk neutronspredning: *Et tidsmikroskop: Aktuel Naturvidenskab* nr. 1/2015

### ANNONCE



Ingeniørstuderende fortæller, hvordan de anvender naturvidenskabelige fag.

## Få et fagligt oplæg til din undervisning

Book en ingeniørstuderende og få nye vinkler på matematik, kemi og innovation.

Vi tilbyder forskellige faglige oplæg, hvor vores ingeniørstuderende kommer ud til jer og viser, hvordan de anvender naturvidenskabelige og tekniske fag i praksis. Oplægene inspirerer med konkrete projekteksempler fra de studerendes studier.

Prøv fx

**Leg, læring og gamedesign:** Vi perspektiverer bl.a. fag som design, innovation, it,

programmering og teknologi med oplæg om udvikling af læringsplatforme, gamedesign og interaktive legeredskaber.

**Innovation, forretningsudvikling og idégenerering:** I får et indblik i et virksomhedsprojekt, hvor vi fortæller om produktudviklingsprocessen fra idégenerering af ny teknologi til lancering af produktet på det globale marked.

**Kemi og bioteknologi:** Vi viser, hvordan vi i projekter anvender viden om kemi og bioteknologi til fx at brygge øl, genvinde naturlige farvestoffer til fødevarer eller undersøge kinesisk malurts medicinske potentiale.

Se og book alle vores foredrag og brobygningstilbud på [www.sdu.dk/tek/brobygning](http://www.sdu.dk/tek/brobygning)  
Kontakt os for nærmere information:  
Mette Andersen på [mcm@tek.sdu.dk](mailto:mcm@tek.sdu.dk)

# Røntgen-snapshots fanger kemi i flugten

De grundlæggende skridt i kemiske reaktioner foregår ufatteligt hurtigt. For at se ind i selve reaktionspilen i en kemisk ligning, må man derfor have et "kamera", der kan tage billeder på en titusindedel af en milliardtedel sekund og med en opløsning på atomar skala. Og det kan man med røntgenstråler.

Et picosekund ( $10^{-12}$  sekund) er et nærmest ufatteligt kort tidsrum: På kun godt et sekund bevæger en lysstråle sig fra Jorden til Månen – på et picosekund bevæger den samme lysstråle sig blot 0,3 millimeter. Men for at observere og forstå dynamiske fænomener som fotokemiske reaktioner (dvs. kemiske reaktioner sat i gang af lys) er det nødvendigt med et "kamera", der kan tage billeder med lukkertider i størrelsesordenen picosekunder. Bevæbnet med information fra de nyeste røntgenkilder og i et bredt internationalt samarbejde er det lykkedes for forskere fra DTU at observere de strukturelle forandringer, som molekyler undergår i kemiske reaktioner med en tidsopløsning på picosekunder – dvs. at se ind i selve reaktionspilen på kemiske reaktioner. Det er bl.a. lykkedes at se, hvordan proteiner kan optage store mængder lysenergi uden at gå i stykker, hvordan enkelte molekyler ultrahurtigt kan skifte imellem magnetisk og ikke-magnetisk tilstand og at observere detaljerne i, hvordan CO-molekyler (kulilte) bliver frigivet fra overfladen på et katalysatormateriale.

## At se ind i reaktionspilen

Fra kemi-undervisningen er de fleste fortrolige med kemiske reaktioner skrevet op med reaktionsligninger som  $A+B \rightarrow C$ . I dag er vores fundamentale forståelse af, hvordan kemi "virker" nået fantastisk langt ved at undersøge de kvantitative sammenhænge mellem A, B og C før og efter selve den kemiske reaktion. I mange tilfælde er det imidler-

tid også interessant at undersøge mellemtrinnene i reaktionen. Er det fx et kortlivet AB-molekyle, som til slut bliver til C, og kunne man forestille sig at designe reaktionen i retning af et andet mellemtrin, BA, således at et mere favorabelt slutprodukt  $C^*$  blev dannet i stedet? Den slags spørgsmål – hvad sker der *inden* i reaktionspilen – er længe blevet undersøgt af kemikere og fysikere. Et absolut centralt værktøj i forskningen på det område har i de seneste årtier været laser-spektroskopi, hvor en rivende udvikling i laserteknologi frem mod slutningen af 1980'erne ledte til lasersystemer, der kunne producere enkelte laserskud med en varighed på under 0,1 picosekunder. Disse ultrahurtige pulser blev brugt af blandt andre kemikeren Ahmed Zewail til først at kickstarte kemiske processer og derefter, brøkdeler af picosekunder senere, at måle, hvordan systemet opførte sig som funktion af tid. Zewail fik i 1999 Nobelprisen i Kemi for dette grundlæggende arbejde med studierne af ultrahurtig dynamik i kemiske systemer.

## Røntgen-snapshots og molekulære film

Uanset hvor banebrydende arbejdet med laserspektroskopi var og er, så mangler der dog stadig en vigtig brik for at få det fulde billede af kemiske reaktioner. Optisk spektroskopi "snakker" så at sige kun med elektronerne (eller rettere, med elektronernes energiniveauer) i de involverede molekyler. Teknikkerne kan i de fleste tilfælde ikke sige noget direkte om, hvor atomerne faktisk befinder sig henne i



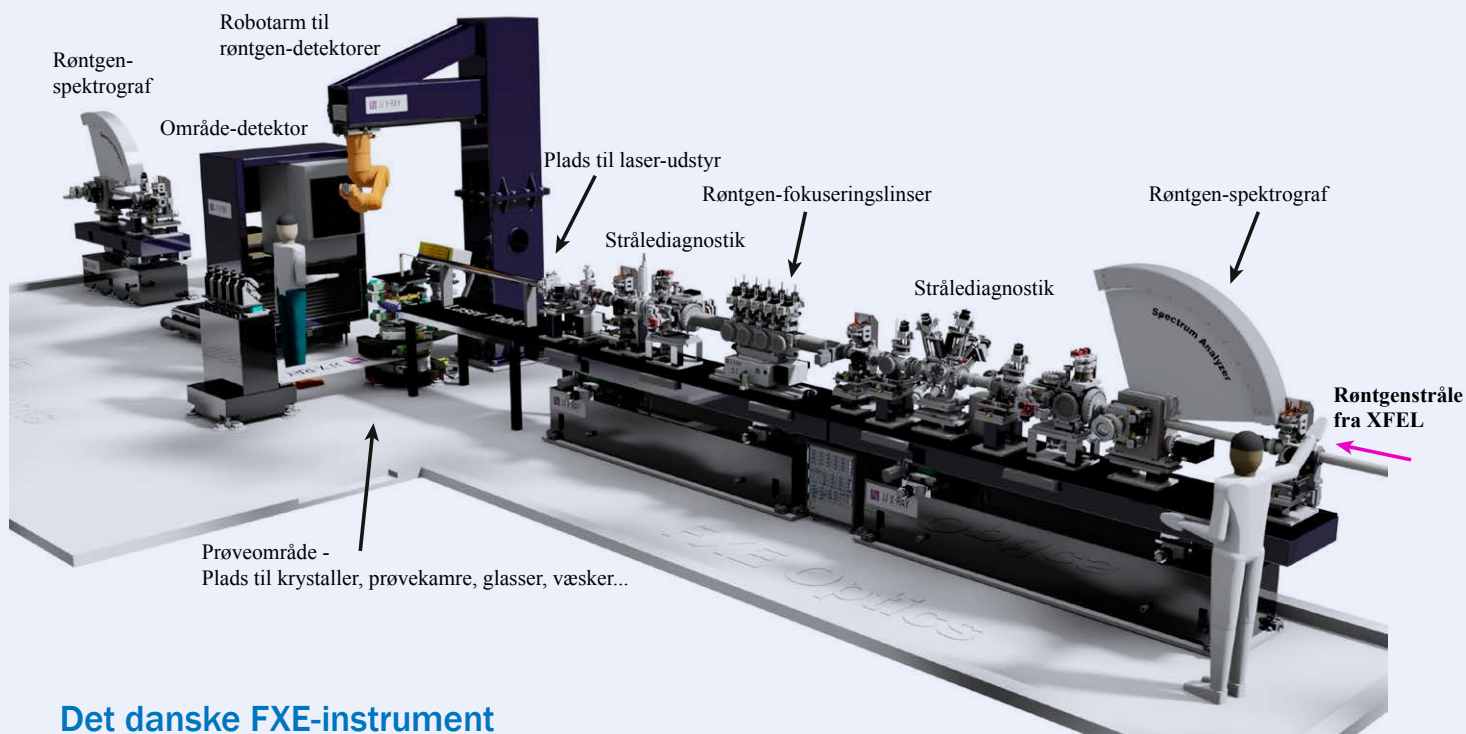
**Forskere**  
Kristoffer Haldrup,  
seniorforsker  
hald@fysik.dtu.dk



Martin Meedom Nielsen,  
professor  
mmee@fysik.dtu.dk

Begge ved DTU Fysik  
NEXMAP-sektionen





## Det danske FXE-instrument

Vigtige komponenter af FXE-instrumentet på den kommende fælleseuropæiske røntgen-fri-elektron-laser (E-XFEL) er betalt af Danmark som en del af vores bidrag til det fælles projekt. Instrumentet bliver designet, fremstillet og leveret af den danske virksomhed JJ X-ray i tæt samarbejde med forskere fra DTU-Fysik og fra E-XFEL. Med dette instrument vil de intense og ultrakorte røntgen-glimt fra XFEL blive brugt til at studere ultrahurtige dynamiske fænomener med hidtil uset præcision og følsomhed.

Fra højre mod venstre ses, hvordan røntgenstrålen fra XFEL ankommer til FXE-instrumentet, hvor hvert enkelt røntgen-glimt (flere tusinde i sekundet) bliver individuelt karakteriseret. Ved hjælp af en række linser lavet af beryllium bliver strålen fokuseret på prøvepositionen, som er omgivet af en lang række detektorer. Disse kan både måle, hvordan rønt-

genstrålingen bliver spredt af prøven, og præcis hvordan prøvematerialet absorberer og udsender røntgenstråling. Med denne information kan man beregne hvilke elektroniske og strukturelle egenskaber prøven har, og hvordan for eksempel fotokemiske reaktioner forløber igennem ændringer af molekylers elektroniske og geometriske struktur.

### Om XFEL

XFEL står for X-ray Free Electron Laser og er en røntgenkilde baseret på en lineær accelerator, hvor elektroner bliver accelereret til en fart blot en brøkdel under lysets hastighed. Herefter bliver de sendt igennem en over 100 meter lang magnetisk "chikane-bane", hvor elektronernes bevægelse i magnetfeltet og en nøje beregnet feedback-proces leder til udsendelse af kraftig røntgenstråling i ekstremt korte glimt.

molekylets struktur. For at få den information, kan man i stedet anvende teknikker med unik følsomhed i forhold til, hvor atomer befinder sig i forhold til hinanden. I den sammenhæng er røntgenstråling et exceptionelt stærkt værktøj. Nu er udfordringen så bare, hvordan man konstruerer et "røntgen-kamera" med en lukkerhastighed, som er tilstrækkeligt hurtig til så at sige at fange molekyler i flugten.

De kraftige røntgenkilder som synkrotroner og røntgenlasere er – ligesom de ultrahurtige laserkilder – såkaldt pulsede kilder. Dvs. strålingen kommer ikke som en jævn stråle, men i mindre, men ekstremt intense, pulser af stråling. Den typiske varighed af en røntgenpuls fra en synkrotron er omkring 100 picosekunder, mens pulsene fra en

røntgen-fri-elektron-laser (XFEL) kan være helt ned til 0,01 picosekunder. Ved at kickstarte en kemisk reaktion med en laserpuls og herefter tage "billeder" af den med røntgenpulserne kan man udnytte røntgenstrålingens evne til at se atomernes positioner. Dermed kan man lave en "molekylær film", hvor man kan se, hvordan de enkelte atomer flytter sig under den kemiske reaktion.

### Solenergi, proteiner og katalyse

Danske forskere fra NEXMAP-sektionen på DTU Fysik deltager særdeles aktivt i forskning baseret på XFEL-faciliteterne med henblik på at forstå ultrahurtig dynamik i kemiske reaktioner. I samarbejde med blandt andre tyske og amerikanske forskningsgrupper har vi udført eksperimenter ved både den amerikanske og den japanske XFEL (LCLS og

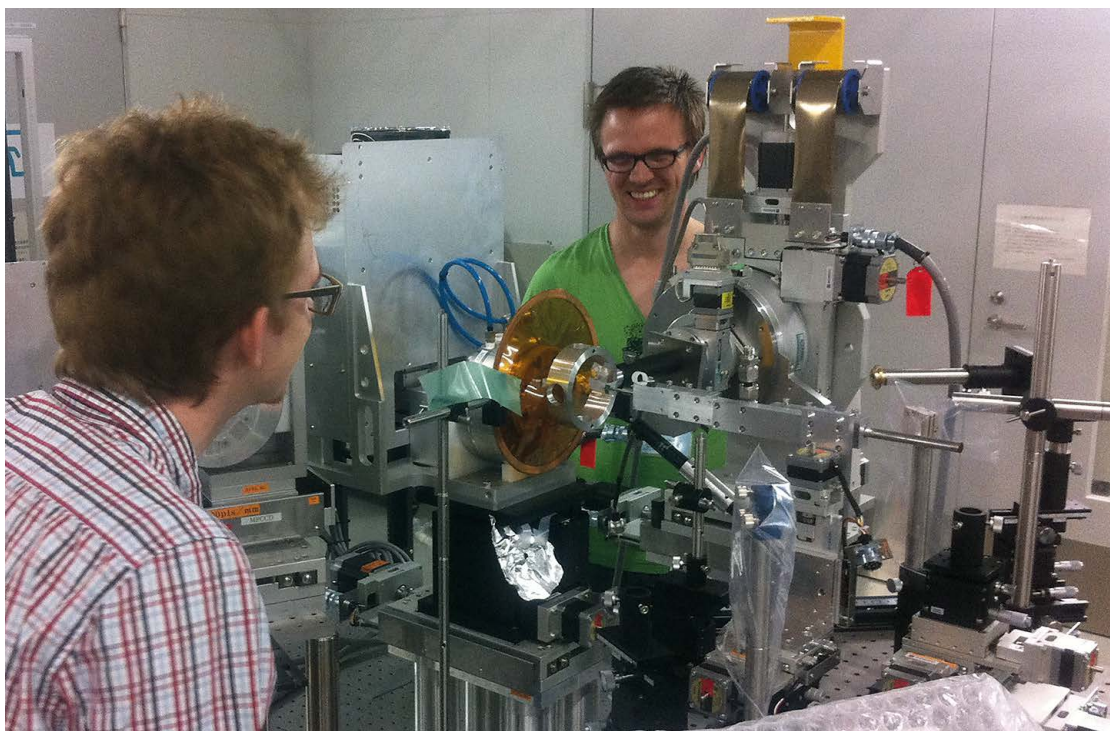


Foto: Kristoffer Haldrup

Kasper Kjær og Tim van Driel, begge postdocs ved DTU Fysik, i gang med opbygningen af et røntgeneksperiment ved den japanske XFEL "SACLA". Eksperimenterne drejede sig om karakterisering af et ruthenium-cobolt molekyle med fotokemiske egenskaber af relevans for foto-katalyse, og resultaterne er for ganske nylig blevet godkendt til publicering i *Nature Communications*.

SACLA), og ved at analysere mange tusinde gigabytes af data fra disse forsøg er det lykkedes at gennemskue præcis, hvordan og hvor hurtigt de molekulære strukturer forandres i en række fotokemiske reaktioner. Senest medvirkede to postdocs, Kasper Kjær og Tim Brandt van Driel, til eksperimenter, hvor en svensk-ledet forskergruppe var i stand til at tage snapshots af de allerførste øjeblikke efter at et fotosyntese-protein optager lysenergi. Igennem målinger kunne det internationale forskerteam kaste nyt lys over, hvordan den type af proteiner bærer sig ad med at optage store energimængder uden at gå i stykker under processen. Andre XFEL-studier med deltagelse af forskere på DTU Fysik har fokuseret på at forstå de ultra-kortlivede mellemtrin i katalytiske reaktioner, fx hvordan CO-molekyler bliver frigivet fra en ruthenium-overflade.

De seneste par år har vores arbejde især været fokuseret på at undersøge og forstå samspillet mellem elektronisk og molekylær struktur i materialer, som på sigt kan bruges til opsamle og lagre energi fra sollys på kemisk vis. I et tæt samarbejde med kollegaer fra Lunds Universitets Kemiteknisk Center undersøger vi desuden i øjeblikket, om det er muligt at designe sidegrupperne i en række jern-forbindelser, så de foto-exciterede tilstande lever længe nok, hundredevis af picosekunder, til at energi fra fx sollys kan overføres til et elektrisk kredsløb. Til det formål vil vi til sommer udføre eksperimenter ved den amerikanske XFEL i Californien. På sigt håber vi, at den nye viden vil gøre

det muligt at udskifte de ekstremt dyre ruthenium-forbindelser i de mest effektive solceller med langt billigere jern-forbindelser.

### Kombinerede røntgenteknikker

Et særligt kendetegn for de eksperimenter, vi har deltaget i, har været, hvordan flere forskellige røntgenteknikker kan kombineres i ét eksperiment. Ved fx at måle på både den spredte røntgenstråling fra en prøve såvel som på den stråling, der bliver absorberet, er det muligt at danne sig et langt mere komplet billede end med blot en af teknikkerne alene. På den måde kan man måle, hvordan absorption af lys på blot 0,1 picosekund kan ændre magnetiseringen af et molekyle, dets "spin", og samtidig hvorledes denne ændring i elektronstruktur hænger sammen med en lynhurtig forandring i molekylets struktur. Den form for kombinerede målinger har vist sig så slagkraftige, at metoden for tiden er ved at blive integreret i designet og konstruktionen af det dansk-leverede FXE-instrument på den Europæiske XFEL, der bygges ved Hamborg. Kombineret med den ekstremt høje røntgen-intensitet på denne nye facilitet forventer vi, at en lang række eksperimenter, som i dag er umulige, vil komme indenfor rækkevidde.

Ved DTU Fysik ser vi i den grad frem til at deltage i eksperimenter, som vil kaste nyt lys på fundamentale aspekter af kemiske reaktioner, som både er vigtige set fra et grundvidenskabeligt synspunkt og for praktisk anvendelse. ■

#### Videre læsning

Generelt om XFEL og de nye fælleseuropæiske forskningsfaciliteter: Tre tigterspring for materialeforskningen. *Aktuel Naturvidenskab* nr. 1/2015

Link til video, der viser hvordan en XFEL virker: <http://lcls.slac.stanford.edu/AnimationViewLCLS.aspx>

Video med præsentation af den europæiske XFEL: <https://media.xfel.eu/XFELmediabank/ConvertAssets/light-of-the-future-2011.mp4>



# Forskningens Døgn på DTU

- for skoler og gymnasier

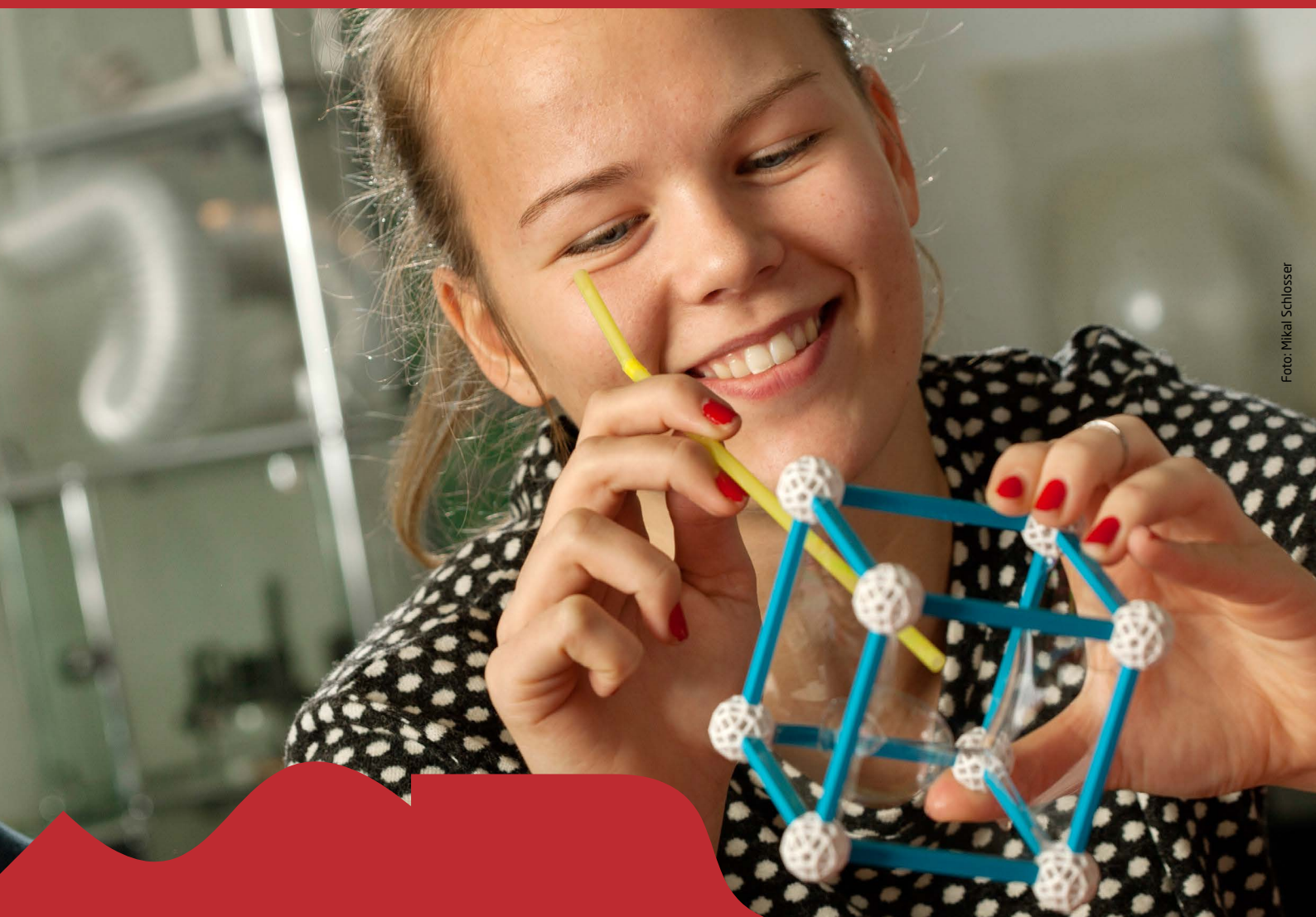


Foto: Mikal Schlosser

Tag dine elever med til DTU Lyngby Campus, når vi **torsdag den 23. april kl. 9-13** sætter teknisk forskning på skemaet. I kan komme tæt på alt fra 3D-printere, robotter og elektronmikroskoper til obduktioner af ræve og råvildt. Der vil også være mulighed for at opleve spændende laboratorier og forsøgshaller, som normalt er lukket for offentligheden. Her står forskere og studerende fra DTU klar til at dele deres begejstring og den nyeste viden.

Arrangementet er for gymnasie- og skoleklasser fra 6. klasse og op.

**FORSK  
NINGENS  
DØGN**

Læs mere om arrangementet og om tilmelding på [www.dtu.dk/ForskningensDoegn](http://www.dtu.dk/ForskningensDoegn)



LYNGBY-TAARBÆK  
KOMMUNE

LYNGBY-TAARBÆK  
VIDENSBY

Danmarks  
Tekniske  
Universitet



# Se nanomaterialer blive til - in situ krystallografi

Med en vifte af teknikker, der anvender røntgen- og neutronstråling, er det muligt reelt at observere, hvordan nanopartikler "fødes" og vokser på tværs af deres kemiske syntese. Forståelsen af, hvordan nanopartikler dannes, giver os vigtig viden, som kan bruges til at optimere materialer til batterier, solceller m.m.

## Forfattere



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



Espen D. Bøjesen, ph.d.-studerende espen@chem.au.dk



Steinar Birgisson, ph.d.-studerende steinar@chem.au.dk



Peter Nørby, ph.d.-studerende noerby@chem.au.dk



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

Nanopartikler er pr. definition partikler, der er mindre end 100 nanometer (0,0001 mm) i alle tre dimensioner. Vi har været omgivet af nanopartikler i tusindvis af år – fx sodpartikler fra bål og brændeovne eller saltpartikler, der dannes i luften fra skumsprøjt ved havet. Nanopartikler har desuden været syntetiseret kemisk til en række anvendelser i flere årtier, men det er først siden årtusindskiftet, at udviklingen virkelig har taget fart. Dybest set erkendte man, at materialer, der var velkendte på mikrometer og millimeterskala, kunne ændre egenskaber fuldstændigt, hvis de blot blev fremstillet som tilstrækkeligt små partikler.

Et stort delsegment indenfor dette "univers" er *uorganiske* nanopartikler, dvs. partikler bestående af bl.a. metaller, halvledere, keramer eller mineraler. De finder i dag anvendelse mange steder. Det er uorganiske nanopartikler, der nedbryder sod og skadelige røggasser fra bilers udstødning. Tilsvarende er det ofte uorganiske nanopartikler, der bruges som katalysatorer, der via kemisk industri skæner os alt fra plastik, gummi og tøjfibre (nylon, akryl, polyester, osv.) til maling og alverdens lægemidler. Udfordringen for materiale-kemikerne er at udvikle nanopartikler, som fungerer optimalt i alle disse mange anvendelser.

## Syntese på højtryk

Der findes mange måder at fremstille uorganiske nanopartikler på og en af de enkleste er *solvothermal syntese*, der dybest set er en trykkognings-proces af ionforbindelser opløst i fx vand eller simple alkoholer. Typisk anvendes temperaturer på 150-450°C samt tryk på 100-350 atm. For at kunne opnå så høje tryk, udføres synteserne i lukkede reaktorer.

De kan være beholdere (tilsvarende en almindelig trykkoger) eller mere avancerede flow-systemer, opbygget af rør, varmezoner og ventiler, hvor reaktant-opløsningen tilsættes kontinuerligt vha. højtrykspumper. Det er en meget produktionsvenlig fremgangsmåde og derfor interessant, idet syntese kapaciteten nemt kan sættes i vejret (større rør, større pumper, osv.).

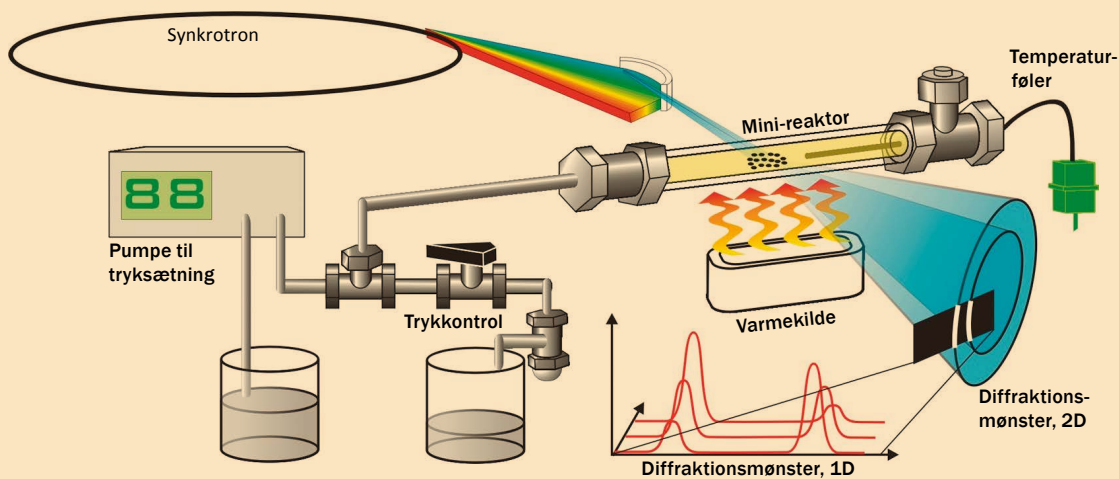
Fælles for alle reaktorerne er, at de er hermetisk forseglede; de kemiske reaktioner, der forløber indeni er skjult for omverdenen. For en materialekemiker, der prøver at udvikle en syntese for et konkret nanomateriale, er dette stærkt generende. Det eneste, man ved, er, hvad man startede med af reaktanter, samt hvilket synteseprodukt man fik ud af reaktoren i sidste ende. Selve forløbet ind imellem er en "black box".

## At se de usynlige

Et problem ved studier af nanopartikler er, at de er langt mindre end bølglængden af almindeligt, synligt lys. Selv i syntese produkterne, man fremstiller, er individuelle nanopartikler derfor usynlige for det blotte øje. En løsning findes i at bruge røntgenstråling, der også er lys, blot med langt kortere bølglængde. Et alternativ er neutronstråling, der har tilsvarende egenskaber.

Røntgen- eller neutronstråler afslører tilstedeværelsen af nanopartikler, idet strålingen spredes på en ordnet facon af den atomare struktur i partiklerne. Uorganiske nanopartikler har næsten altid *krystalstruktur*. Det vil sige: Et velordnet, grundlæggende mønster af atomer, som gentages igen og igen på tværs af hver eneste partikel i alle tre dimensioner. Udsat for en røntgen- eller neutronstråle spre-





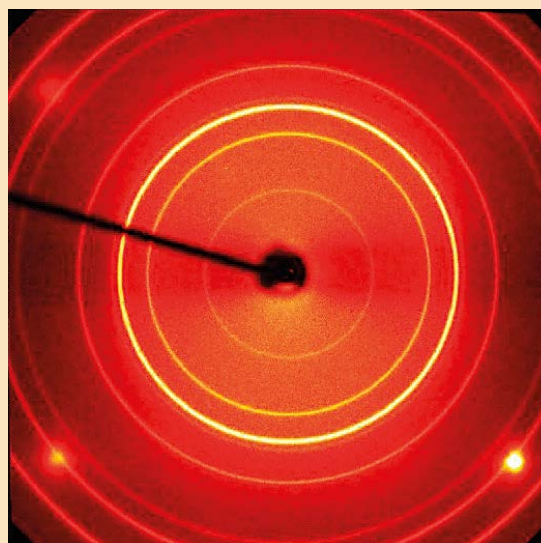
Den eksperimentelle opstilling bag "live"-optagelserne af nanokrystalers fødsel og opvækst. Cirklen øverst repræsenterer synkrotronen, hvorfra røntgenstråling kommer ud og rammer den opvarmede, tryksatte mini-reaktor, hvori nanokrystallerne dannes. Deres "fingeraftryk" fanges på detektoren.

## Pulverdiffraktion

Pulverdiffraktion opstår ved samtidig spredning af enten røntgen- eller neutronstråling fra et stort antal små krystaller. Normalt anvendes stråling med én bestemt, udvalgt energi. Under dette forhold spredes strålingen ud i kegler, der ligger indeni hinanden – de kommer til at fremstå som cirkler, når man fanger deres tværsnit på et røntgenkamera. Det fælles centrum er den direkte, ikke-spredte stråle, dvs. den store andel af den rå intensitet, som blot passerer lige igennem materialeprøven, der måles på.

Analysen af et pulverdiffraktionsmønster starter med at reducere 2D-billedet til et 1D-datasæt. Her udmåler man den vinkel, der udspændes imellem den direkte stråle og den spredte stråling, efterhånden som man bevæger sig udad gennem ringene. Et 1D-diffraktionsmønster bliver dermed en række klare, veldefinerede toppe. Hver eneste af dem er skabt af én bestemt type af gentagelses-sekvens, der forekommer blandt atomerne, mens man bevæger sig gennem materialet. Sådanne sekvenser kan der være rigtig mange af indenfor et 3D-krystalgitter, og hvert materiale har sit eget, helt unikke sæt.

Det afgørende skridt i analysen af pulverdiffraktionsmønstre kaldes for Rietveld-forfining. Her holder man det målte 3D-gitter op imod en verificeret model af materialets struktur, sådan som den *ville se ud* uden nogen som helst forstyrrende



Kredit: Henrik L. Andersen

Råt pulver-diffraktogram af  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  nanopartikler, et magnetisk materiale. De enkeltstående diffraktionspletter kommer fra prøveholderen, som er en safir-krystal ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ).

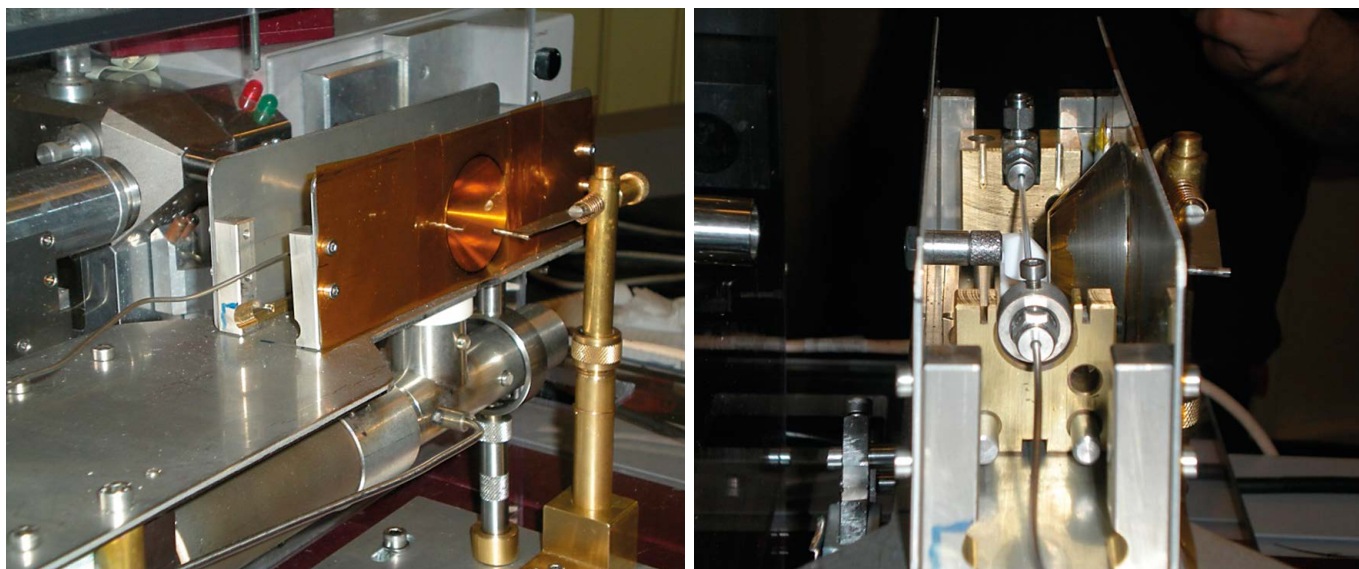
elementer. Herefter justerer man på en række parametre, der alle har direkte link til visse fysiske egenskaber – fx partikelstørrelse, spændinger i krystalgitteret, "huller" i strukturen, osv. Hver af disse medfører små ændringer i et diffraktionsmønster. Når man har et match, ved man derfor præcis, hvilke fysiske karakteristika der præger netop det foreliggende materiale – konkret de nanopartikler, man har fremstillet.

der partiklerne kollektivt strålingen ud i et mønster af ringe, der ligger indeni hinanden med et fælles centrum. Dette kaldes også et diffraktionsmønster, eller mere specifikt et *pulver*-diffraktionsmønster, idet partiklerne reelt er individuelle korn i et meget fint krystalpulver. Mønsteret er et unikt fingeraftryk af det materiale, nanopartiklerne består af. Med pulverdiffraktion kan forskellige materialer lynhurtigt skelnes fra hinanden, og derudover kan der også ud fra diffraktionsmønstret udtrækkes et væld af information om bl.a. størrelse og facon af nanopartiklerne, urenheder, spændinger i krystalgitterne og meget mere.

Kunsten i at udvikle bedre nanomaterialer er at henhøre alle disse strukturelle aspekter til hvert materiales overordnede egenskaber – herunder deres anvendelighed. Atomar struktur og egenskaber hænger uløseligt sammen. Med viden om begge har en materialekemiker grundlag for at udvikle nanopartikel-syntesen derhen, at krystalstrukturen ændres i bestemte retninger, dvs. egenskaberne tilpasses bestemte anvendelser.

### Nanomaterialer "live"

At bruge røntgen- eller neutronstråling til karakterisering af nanopartikler er imidlertid også en ele-



*In situ* studier af solvotermale synteser bruger ofte en miniature-reaktor. På grund af det lille rumfang behøver sådanne reaktorer ikke tykke vægge. Tynde vægge gør det nemmere for røntgen- eller neutronstrålerne at trænge igennem reaktoren. Der er også mindre stof, der skal opvarmes, idet syntesen starter. En praktisk løsning er at bruge et tyndt rør som reaktorbeholder.

gant måde at få indsigt i deres kemiske dannelse indeni en solvotermal syntesereaktor. Muligheden ligger i, at disse typer stråling begge kan gennemtrænge stof. Røntgen/neutron-strålen har altså mulighed for at gennemtrænge væggene i de kemiske syntesereaktorer. Dette vil virke, hvis strålingens energi er høj nok, væggene er tilpas tynde eller de er lavet af velvalgte materialer. Med de rette tekniske greb bliver slutresultatet altså pulverdiffraktionsmønstre af nanopartikler, som stråler ud *gennem* væggen af en lukket reaktor.

Det næste praktiske problem er, at dannelse af nanopartikler i et solvotermalt miljø ofte er meget hurtigt – i størrelsesorden nogle få sekunder. Denne hastighed skal pulverdiffraktions-målingerne kunne matche. Hvert datasæt skal meget gerne optages *hurtigere* end reaktionens eget tempo, da måleresultatet ellers bliver et udværet gennemsnit af hele det kemiske forløb. I praksis betyder det, at man skal kunne optage hvert diffraktionsmønster på ca. 1 sekund. Det er et ekstremt højt tempo, især fordi hvert datasæt også skal være af høj kvalitet. Man kæmper her med det problem, at kun en lille del af intensiteten i den stråling, der rammer prøven, kommer ud som diffraktion, hvorimod størstedelen passerer lige igennem og er tabt. Det stiller store krav til den rå intensitet af røntgen- eller neutronkilden, der leverer den indkommende stråling. Alt dette indfries imidlertid af de kommende forskningsfaciliteter MAX-IV synkrotronen og European Spallation Source (ESS) ved Lund, der begge har kapacitet til at levere en enorm intensitet af hhv. røntgenstråling og neutroner.

Overordnet er hele denne metode et eksempel på *in situ* karakterisering (latin: på stedet), afspejlende at

man måler “live” på en proces, imens den forløber. Resultatet er en “film”, der viser hele dannelsesforløbet af nanomaterialerne – men en film, der ikke er udtrykt i billeder, men derimod i termer af alle de forskellige egenskaber, pulverdiffraktionen giver indsigt i.

Danske forskere har udviklet, benyttet og forfinet *in situ* diffraktion i årevis og ved Institut for Kemi ved Aarhus Universitet har vi studeret dannelsesforløbet for en enorm vifte af nanomaterialer, heriblandt magnetiske materialer, batterimaterialer, termokrome stoffer, metal-katalysatorer, ion-ledende materialer, foto-katalytiske materialer og termoelektriske materialer. Forskerne i Aarhus har samtidig udvidet deres *in situ* teknik til at omfatte et helt nyt og værdifuldt repertoire.

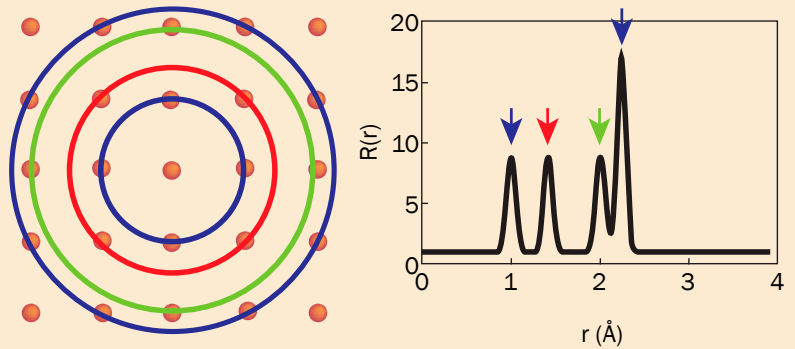
### Kombi-teknikker

Pulverdiffraktion er kun ét eksempel på ordnet spredning af røntgen- eller neutronstråling. Der findes andre teknikker, som også kan eksekveres *in situ* som beskrevet ovenfor. For nanomaterialer er en af de mest interessante “småvinkel-spredning”, som kan optræde både som røntgen- og neutronspredning. Her måler man det spredningsfænomen, som opstår *helt inde omkring* den direkte røntgen- eller neutronstråle. Dette signal rummer information om nanostrukturer på en 1-100 nm skala, altså noget mere overordnet end den atomare struktur, som diffraktionen giver indsigt i. Småvinkel-spredning har herudover den store fordel, at signalet opstår, uanset om materialet, man måler på, har en krystalstruktur eller ej. En del materialer er ikke 100 % krystallinske, idet der er enklaver af “uordnet” struktur ind imellem. Et typisk eksempel er overfladen af nanopartikler, hvor atomerne ikke let



## Princippet i PDF-analyse

Princippet i PDF-analyse er grundlæggende ret enkelt. Det illustreres nemmest med et "2D-materiale", som det der er vist i figuren. Udgangspunktet er et vilkårligt atom i strukturen – her valgt som det i midten. Hver af ringene omkring repræsenterer en konkret afstand, hvori man finder et bestemt antal naboatomer. Hver giver anledning til en "top" i det færdige PDF-plot, der er vist til højre. Størrelsen af toppen afhænger af, hvor mange gange netop dén afstand forekommer mellem atomer.



Længde-enheden i PDF-plottet er Ångstrøm (forkortet "Å"), svarende til 0,1 nanometer. Det er den mest passende skala, når man bevæger sig i atomernes verden.

Figur efter Dipankar Saha

I rigtige materialer er der naturligvis naboer i 3D og mange forskellige atomer i spil. Hver PDF-top er imidlertid stadig udtryk for en bestemt orden i strukturen. Krystallinske materialer har således adskillige tydelige toppe, tilsvarende en høj atomar orden, som også rækker langt – fx på tværs af en hel nanopartikel. Uordnede materialer, væsker og gasser har kun én eller ganske få PDF-toppe, der tilsvare deres umiddelbare kemiske bindinger – i almindeligt vand ( $H_2O$ ) ville det fx være afstanden hydrogen-ilt.

Hvor stopper et PDF-plot så? For nanopartikler er svaret simpelt: Når man er nået til den længst mulige interatomare

afstand, man kan tænke sig. Det vil her sige to atomer, som sidder på hver deres (stik modsatte) side af en partikel. I data ser man da også, at PDF'en "klinger af" omkring denne afstand, såfremt partiklerne blot er nogenlunde ensartede i størrelse.

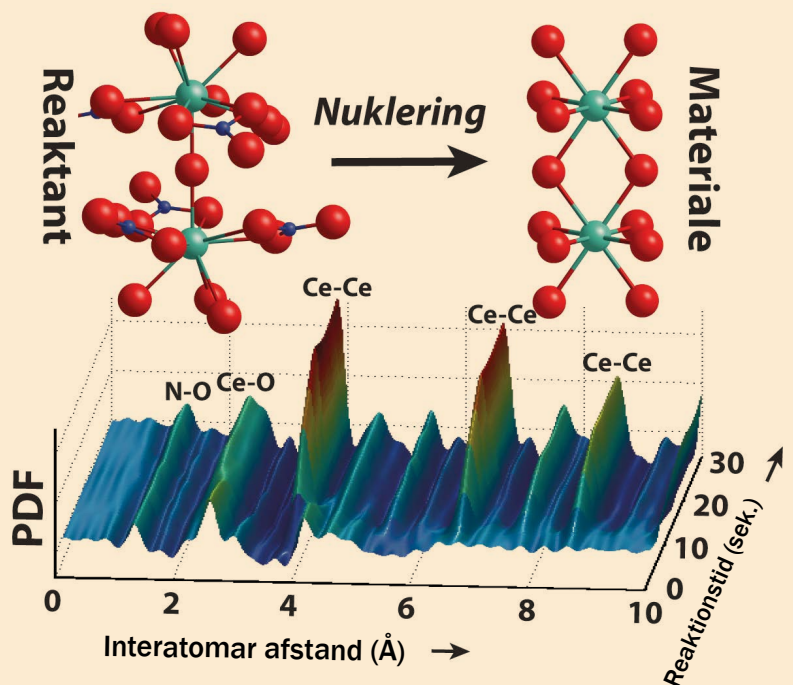
## In situ PDF

Styrken i PDF-analyse er, at man ser overgangen fra de kemiske reaktanter i opløsningen, der er udgangspunkt for solvothermal syntese, over til de færdige nanopartikler.

Her ses fx resultatet af et *in situ* studium af dannelsesforløbet for materialet  $CeO_2$  syntetiseret i vand ved 200 °C og 250 bar.  $CeO_2$ -nanopartikler er bl.a. et af de aktive materialer i bilkatalysatorer og derfor genstand for stor interesse.

Udgangsstoffet er ammonium-cerium-nitrat,  $[NH_4]_2Ce(NO_3)_6$ , opløst i vand. Her viser PDF-analysen, at cerium-atomer danner et bestemt kemisk kompleks med omgivende nitrationer, som vist øverst til venstre. Turkise atomer er cerium, røde er ilt og lilla er nitrogen. Komplekset er bl.a. kendetegnet ved afstanden Ce-O, der ses i PDF-plottet nederst.

Syntesen startes simpelthen ved at tilføre varme. Det sker med ét slag til tiden 0, og herefter viser PDF-plottet, hvordan der opstår en række nye interatomare afstande som tiden går. Disse afstande kan entydigt relateres til afstande mellem cerium-atomer, som er karakteristiske for det færdige nanomateriale, hvis struktur er vist øverst til højre. Samtidigt ændres Ce-O afstanden sig en anelse i takt med, at reaktant-komplekset udtømmes, og  $CeO_2$ -kystalstrukturen etableres.



Videre læsning:  
Mere om krystallografi og spredningsteknikker:  
Krystallografi – kemikere-  
rens genfundne redskab.  
Aktuel Naturvidenskab nr.  
5/2013.

Mere om produktion af  
nanokrystaller og solvo-  
termal syntese:  
Nanopartikler på samle-  
bånd. Aktuel Naturviden-  
skab nr. 2/2014.

finder sig til rette i krystalstrukturen. Det forekommer også, at dannelsesprocessen for nanopartikler forløber i to stadier: En indledende dannelse af atomart uordnede partikler som herefter, over tid, krystalliserer. Derfor er det værdifuldt at kombinere småvinkel-spredning med pulverdiffraktion.

Et eksempel på et materiale, der har været studeret på denne måde af forskerne i Aarhus, er aluminium-mineralet böhmit (kemisk formel  $\text{AlOOH}$ ). Det er et udgangsstof for det keramiske materiale aluminiumoxid ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), som anvendes som bæremateriale i utallige katalysatorløsninger over hele verden. Via kombinerede småvinkel- og pulverdiffraktions-undersøgelser opdager man, at der sker en dannelse af uordnede partikler forud for en mere gradvis krystalliserings-proces.

### Total-spredning

Den nyeste *in situ* måleteknik, som forskerne ved Aarhus Universitet har udnyttet sammen med Columbia University (New York), kaldes for *total-spredning*. Ved matematisk behandling af totalspredningsdata kan man udregne en unik funktion kaldet Pair Distribution Function (analysen kaldes ofte for PDF-analyse), hvor *pair-distribution* henviser til "par" af atomer. Faktisk hvilket som helst par af atomer, man kunne ønske at pege på i materialets struktur, hvor som helst i en given nanopartikel, og i enhver kombination. PDF-analyse udmåler afstandene imellem ethvert sådant sæt af atomer. For mikrokrySTALLINSKE materialer vil afstandene mellem alle atompar være veldefinerede, både

i atomernes nærmiljø og længere borte i strukturen. For nanopartikler, der ofte er delvist uordnede, er "nære naboer" imidlertid overrepræsenteret i forhold til atomer, der ligger længere fra hverandre; og der måles selvfølgelig ingen atompar, som har længere indbyrdes afstand end størrelsen af partiklen.

Slutresultatet af en PDF-analyse er derfor en strukturel kortlægning af et nanomateriale *både* hvad angår nærmiljøerne omkring alle atomerne *og* de længere afstande, der går på tværs af hver partikel. Den nære orden er imidlertid essentiel for forståelse af kemiske bindingsforhold, og her hæver PDF-analyse sig unikt over pulverdiffraktion, som kun "ser" de gennemsnitlige strukturelle aspekter for materialet. PDF kan også skelne ordnet struktur fra uordnet og virker lige godt på begge.

PDF-analyse fungerer også for de rå reaktanter, der findes opløst i reaktionsblandingen, forud for at syntesen overhovedet er begyndt. Man kan bl.a. se, hvilke konstellationer de danner med opløsningsmidlet, og hvilke af disse der deltager aktivt i nanopartikel-dannelsen, hvornår det sker og i hvilke trin. Med *in situ* PDF-analyse har forskerne fra Aarhus Universitet med andre ord udviklet en teknik som for første gang gør det muligt at måle *alle* strukturkemiske forhold i en solvothermal nanopartikelsyntese, både før, under og efter.

I øjeblikket benytter man mest røntgenstråling til PDF-analyse, men ESS vil i høj grad bane vejen for udviklingen af *in situ* PDF-analyse med neutroner. ■

# Hvis du havde én dag.....

...som studerende  
på en naturvidenskabelig  
uddannelse

## Så kunne du

- Opleve studiemiljøet
- Snakke med en studerende
- Være med til undervisningen
- Prøve en helt almindelig dag på studiet



**Bliv studerende for en dag**

[WWW.SDU.DK/BROBYGNING](http://WWW.SDU.DK/BROBYGNING)



# EFTERUDDANNELSE

2015  
EFTERUDDANNELSE  
29-30. oktober

## MÅLING AF ENERGISTOFKIFTET

Alle ved hvad det skal have med indtagelse af energi, end med forbrug. Eller som vi siger, hvad er energien egentlig god til, og hvilke faktorer påvirker energistofkiftet? (Bemærk: bioenergi er ikke et mål for energistofkiftet.)

2015  
EFTERUDDANNELSE  
13-14. april

## EFFEKTER AF UNDERVANDSSTØJ I HAVMILJØET

Vi kommer mere og mere på høret. Den menneskelige undertrykning er kommet. Fokus indenfor de sidste 10 år i forbindelse med miljøundersøgelser af havmiljøet. Hvordan påvirker lyd og lydenergi miljøet? Hvordan påvirker lyd og lydenergi miljøet? Hvordan påvirker lyd og lydenergi miljøet?

2015  
EFTERUDDANNELSE  
1-2. oktober

## GENETIK I NATURFORVALTNINGEN

Genetik er genetik, uanset om det er en plante eller et dyr. Men hvad er det for en genetik? Hvordan påvirker genetik miljøet? Hvordan påvirker miljøet genetik? Hvordan påvirker genetik miljøet?

2015  
EFTERUDDANNELSE  
29-30. oktober

## RISIKOVURDERING AF MILJØFREMMEDE STOFFER

Risikovurdering er genstand for intense videnskabelige, faglige og politiske diskussioner, når lovgivning for en vurdering af miljøfarlige stoffer. Dette kursus starter fokus på vidensindsamlingen og giver indsigt i den videnskabelige praksis. Kurset er et videnskabeligt fundament for det daglige arbejde med risikovurdering af miljøfarlige stoffer med perspektiver til natur- og miljøforvaltning.

2015  
EFTERUDDANNELSE  
21-23. oktober

## MARIN FAUNA - INDSAMLING OG ARTSBESTEMMELSE

Havmiljøet har et stort potentiale som ressource. Kurset giver en generel introduktion til den danske marine fauna med særlig fokus på artsbestemmelse. Du vil blive introduceret til de vigtigste grupper af marine organismer, og vil blive introduceret til de vigtigste metoder til artsbestemmelse. Du vil blive introduceret til de vigtigste metoder til artsbestemmelse. Du vil blive introduceret til de vigtigste metoder til artsbestemmelse.

2015  
EFTERUDDANNELSE  
10-11. september

## ADAPTIV NATURFORVALTNING

Et af de mest udfordrende områder i forvaltningen er at finde løsninger på problemer, der er komplekse og ændrer sig over tid. Dette kursus giver dig indsigt i de forskellige metoder til adaptiv forvaltning og hvordan de kan bruges til at løse problemer i naturen.

2015  
EFTERUDDANNELSE  
29-30. april eller 12-13. marts

## HAVETS PLANTER - ØKOLOGI OG BIOTEKNOLOGI

Vi bruger havets planter som mål for hvelv, miljøforvaltning og bioteknologi. Dette kursus giver dig indsigt i de forskellige metoder til havets planter og hvordan de kan bruges til at løse problemer i naturen.

2015  
EFTERUDDANNELSE  
3-4. september

## BIOLOGISKE EFFEKTER AF MILJØFARLIGE STOFFER I HAVMILJØET

Miljøfarlige stoffer udgør en risiko for sundhed og miljø. Dette kursus giver dig indsigt i de forskellige metoder til miljøforvaltning og hvordan de kan bruges til at løse problemer i naturen.

2015  
EFTERUDDANNELSE  
9-10. april

## BANANFLUERS GENETIK I PRAKSIS

Du vil blive introduceret til de vigtigste metoder til artsbestemmelse. Du vil blive introduceret til de vigtigste metoder til artsbestemmelse. Du vil blive introduceret til de vigtigste metoder til artsbestemmelse.

## Få del i den nyeste forskning

Kom i felten og laboratoriet, lær de nyeste metoder at kende og få inspiration til dit daglige arbejde.

Deltag i efteruddannelseskurser på Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. Kurserne varer 2-3 dage og afholdes i foråret og efteråret 2015.

**Bemærk:**  
**Tilmeldingsfrister i marts for forårets kurser!**



# Parasit påvirker torskens hjerterytmer

Torskens røde gælleorm er en parasit, der ser ubehagelig ud, men hvor meget påvirker den egentlig sin vært? Avanceret teknik har afsløret, at parasitten nedsætter hjertets pumpeevne markant og dermed har stor indflydelse på torskens sundhed.

Videnskabsfolk har i årtier diskuteret, om en velkendt snylter på atlantehavstorskens gæller påvirker fisken negativt. Torskens røde gælleorm *Lernaeocera branchialis* er særdeles iøjnefaldende, når den som en stor blodfyldt blære toner frem under gællelåget på den friskfangede torsk. Den er i virkeligheden et parasitisk krebsdyr, en omdannet vandloppe, der i udviklingens løb har opnået evnen til at snylte på torsken, æde dens blod og i øvrigt blive transporteret afsted over store afstande uden at skulle bruge energi på bevægelse. En strålende udspekuleret og typisk strategi for en sand parasit. Den ser drabelig ud, og for de fleste almindelige mennesker hersker der ikke tvivl i deres sind om, at en sådan parasit må have negative konsekvenser for den befængte torsk. Imidlertid har de lærde diskuteret dette punkt. Nogle undersøgelser har vist, at stærkt inficerede torsk blev afmagrede, mens andre studier ikke viste en specielt udtalt effekt. Da der tilmed ikke tidligere er gennemført grundige eksperimentelle undersøgelser, har flere fiskeforskere ment, at torsken nok kunne vænne sig til en sådan snylter, og effekten på fisken måtte være minimal. Ny forskning, som bringer avancerede teknikker i spil, viser imidlertid nu, at snylteren er en overordentlig stor belastning for torsken. Dens normale hjerterytme forstyrres, pumpeevnen er markant nedsat og dette har afgørende betydning for fiskens evne til at optage ilt og fordøje indtaget føde. Alt dette er blevet blotlagt ved hjælp af en avanceret teknik til at overvåge torskens hjerterytme.

## Hjerterytmen hos en torsk

Teknikken er baseret på at operere en sonde rundt om fiskens ventrale aorta. Herved kan torskens hjerterytme aflæses, og mængden af blod, der pumpes ud fra hjertet, kan aflæses. Når man samtidig er i stand til at måle torskens iltoptagelse under forskellige forhold, herunder fodring med kendte mængder af foder, kan man danne sig et rimeligt indtryk af, hvorledes eventuelle hjerteproblemer influerer på fiskens fysiologi, vækst og fysiske formåen.

Vore undersøgelser, lavet i samarbejde med kollegaer fra Gøteborg Universitet, har vist, at torsk uden parasitter har en let og ubesværet hjerterytme, mens en eller to parasitter nedsætter pumpeevnen markant (se boks). Snylterens fasthæftning og ændring af karsystemet har tillige en signifikant indflydelse på torskens iltoptagelse. Med andre ord er det øgede iltoptag, som ses efter indtagelse af et måltid, stærkt reduceret. Og det er et problem for fisken, idet dette iltoptag understøtter alle de processer, der er nødvendige, for at en torsk kan opretholde livet (nedbrydning af føden, optagelse af næringsstoffer og opbygning af væv). Parasitterne har en begrænset levetid, måske omkring et år, men mens de snylter på torsken, reagerer fiskens immunsystem mod dette store fremmedlegeme med en kraftig vævreaktion, som søger at indkapsle parasitdelene i fisken. Karsystemet bliver herved tilstoppet og stærkt fortykket og er sandsynligvis hermed årsag til hjerteproblemerne. Det viste sig ligeledes, at selv gamle infektio-

### Forfatterne

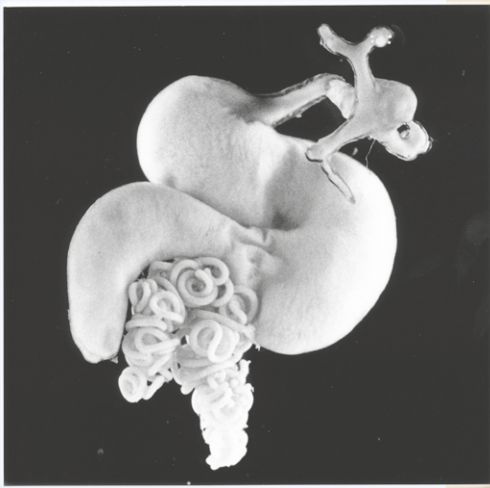


Jane Behrens er forsker, DTU Aqua  
jabeh@aqua.dtu.dk



Kurt Buchmann er professor ved Institut for Veterinær Sygdomsbiologi, Københavns Universitet  
kub@sund.ku.dk



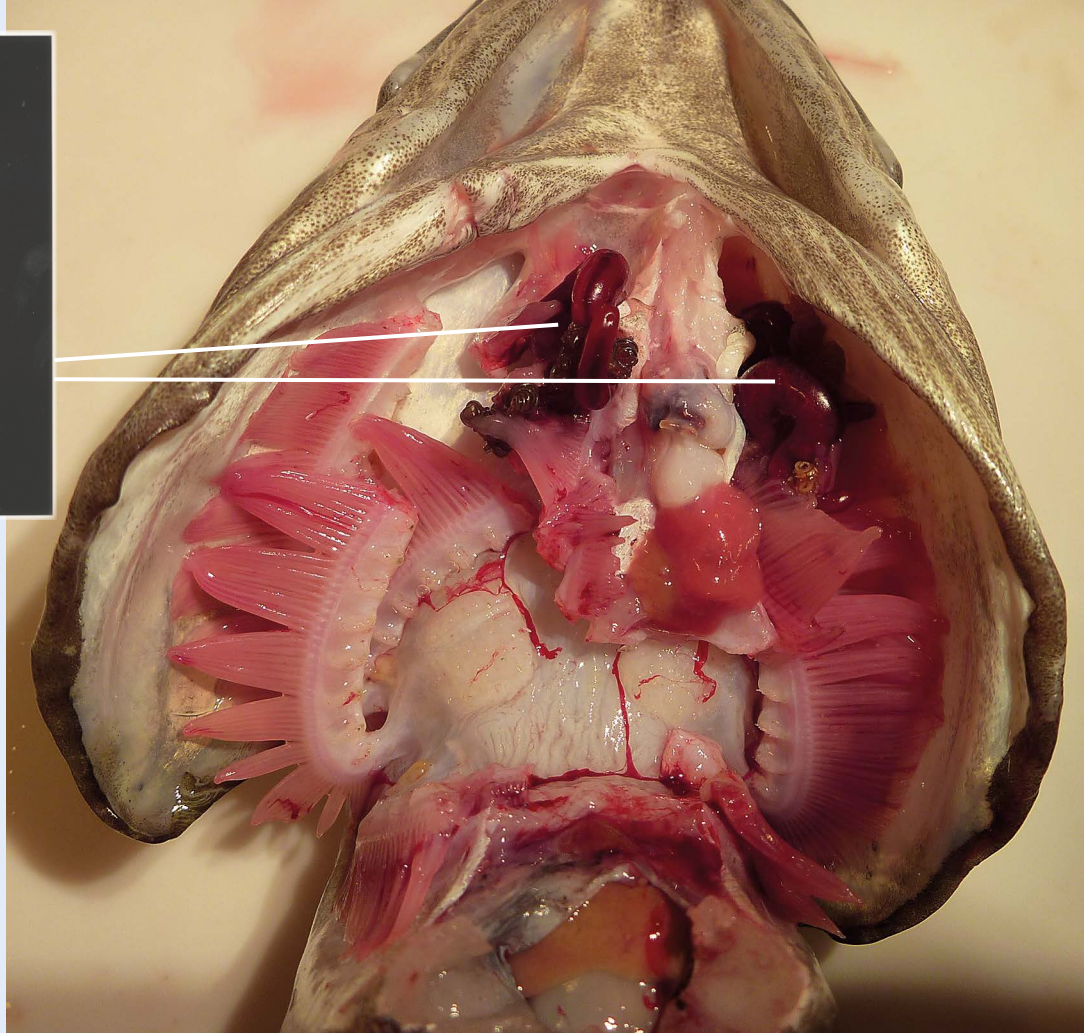


↑ Foto af torskens gælleorm (*Lernaeocera branchialis*) isoleret fra torskens gæller. Parasittens forgrenede forende med mund gennemtrænger gællerne og kan trænge ind i den ventrale aorta og til tider fasthæfte sig i hjertet. Den lever af torskens blod, som fordøjes i kroppen og utallige æg produceres i æggestokkene, som er placeret på bagkroppen.

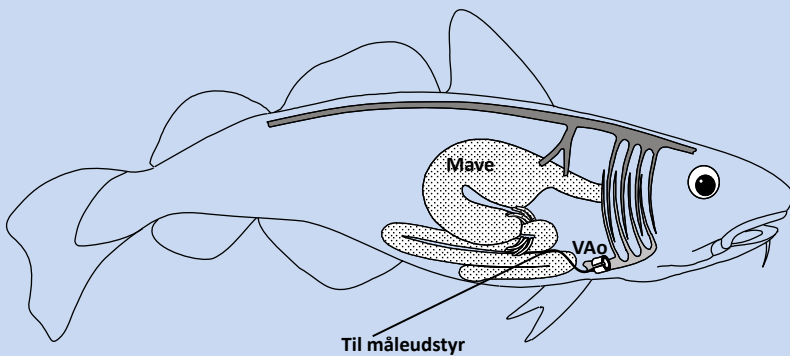
Foto: K. Buchmann.

Foto af parasitten fasthæftet i torskens gæller. I denne fisk ses to snyltere som ydre blodfyldte blærer. I midten den ventrale aorta med en indre rest af parasit.

Foto: Jane Behrens.

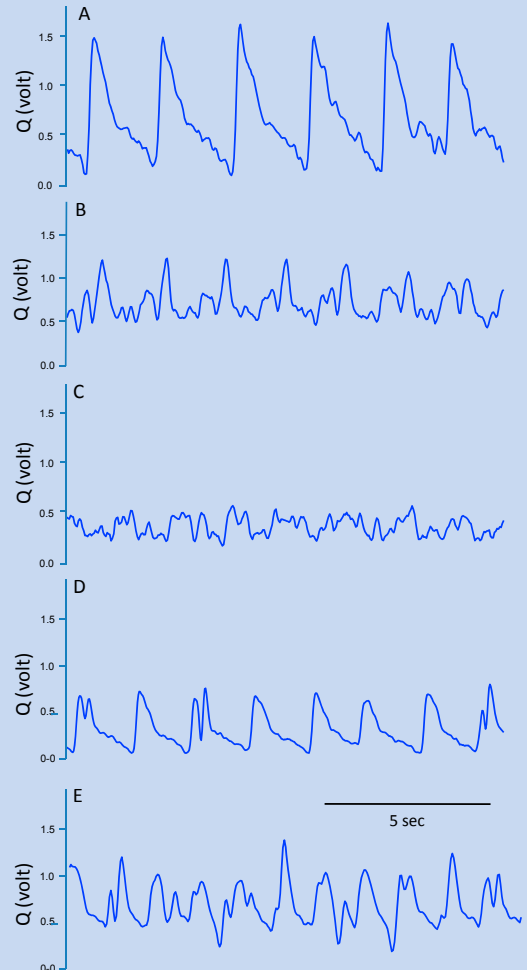


## Torskens hjerterytme



Skematisk figur af en torsk, som viser placeringen af en sonde omkring den ventrale aorta (VAo) samt kablet fra sonde, som går til måleudstyret.

Hjerterytmen fra A) en torsk uden parasitter og fra B, C og E) torsk med rester af en eller flere parasitter i den ventrale aorta samt D) en torsk med en levende parasit i den ene gælle. Ikke-inficerede torsk har en regelmæssig hjerterytme med ensartet amplitude, hvorimod hjerterytmen hos fisk, som har eller har haft parasitter er uregelmæssig og med en betydeligt reduceret amplitude.





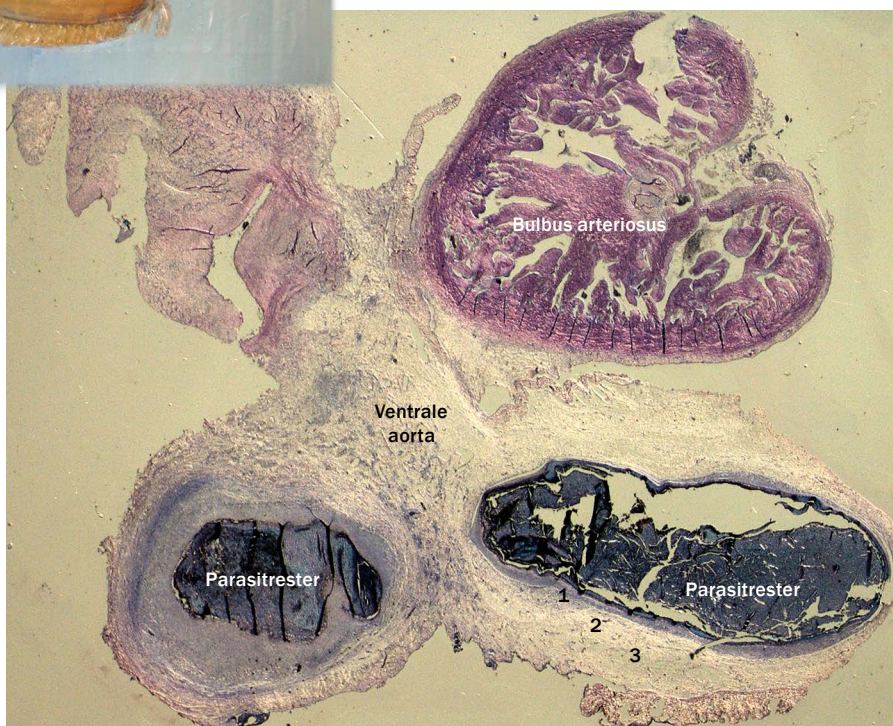


## Parasittens livscyklus

Illustrationen viser livscyklus for torskens røde gælleorm *Lernaeocera branchialis*, som i virkeligheden ikke er en orm, men derimod et krebsdyr – en vandloppe tilhørende familien Penellidae. Den voksne, kønsmodne hun afgiver æg til vandmiljøet. Disse klækkes og udtrænger en naupliuslarve, der skifter skal og udvikler sig til et nyt vandloppestadium (det såkaldte copepoditstadium). Hanner og hunner finder hinanden på en skrubbegæller, hvor de parrer sig. Den befrugtede hun svømmer dernæst ud i havet og opsøger en torsk, som den fasthæfter sig til, gennemtrænger gællelevet og søger med hoved og mund op i den ventrale aorta. Hunnen færdigudvikles på torsken og påbegynder produktion af æg baseret på torskens blod som proteinkilde.

Illustration: Kurt Buchmann

Snit af et inficeret torskehjerte stærkt forstørret → Man ser rester af en parasit, som optager pladsen i den ventrale aorta. Fra bulbus arteriosus pumpes blodet frem til gællerne gennem den ventrale aorta. Tallene 1) angiver krebsdyrets overflade, 2) angiver immuncellereaktionen fra fiskens side og 3) angiver aortavæggens generelle fortykkelse.



ner påvirkede hjertet. I tilfælde, hvor hovedparten af parasitten (de ydre dele) var bortfaldet, kunne man finde rester af parasittens forende i aorta og hjertevæv. Og disse gamle skader var nok til at skabe mislyde i hjertet.

### Sandfærdige fiskeribiologiske modeller

Undersøgelserne bidrager til vor forståelse af, hvorledes parasitter på godt og ondt indgår i det marine økosystem og kæder de forskellige trofiske niveauer sammen. Snylterens livscyklus er i sig selv et udtryk for denne sammenhæng. Den voksne parasits påvirkning af en rovfisk kan påvirke populationsstørrelsen af både rovfisk og byttedyr, parasittens forskellige stadier indgår som en del af plankton og snylterens parring sker på en anden fiskeart (skrubbegælle), som optager en særlig niche i det marine økosystem.

Fiskeribiologiske modeller opererer ikke med det meget dynamiske samspil, der eksisterer mellem fiskene og deres parasitter. Nogle parasitter er fx meget sygdomsfremkaldende under visse forhold, mens de under andre miljøforhold vil have mindre effekt. Desuden eksisterer der en rigdom af forskellige fiskeparasitter. Nogle er meget specifikke mht. valg af vært (fiskearten), mens andre er knap så kræsne. Nogle snyltere vil kun være til stede i fiskepopulationen, hvis andre dyr (fx sæler, hvaler, fugle) også forekommer i miljøet, og som nævnt får torsken kun gælleorm, hvis der er skrubbegælle i farvandet. Beskrivelsen af det økologiske system i havet vil således blive meget kompliceret, hvis parasit-elementet tilføjes, men til gengæld vil en sådan beskrivelse blive langt mere sandfærdig. ■



LÆS MERE  
NANO.AAU.DK/SRP

# HJÆLP TIL DIT STUDIERETNINGS- PROJEKT?

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

DU KAN FÅ HJÆLP TIL EMNER SOM:

## FYSIK

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

## KEMI/BIOTEKNOLOGI

METALLISKE NANOPARTIKLER  
MICELLER  
PEPTIDSYNTSESE  
ENZYMKINETIK



AALBORG UNIVERSITET

# Sådan skrives det!

Det er ikke pedanteri, når man forventer, at alle skribenter følger vedtagne skriveregler for fysiske størrelser i artikler og lærebøger.

Forfatter



Knud Erik Sørensen,  
lektor, cand.scient.  
kes@kes.dk

I seneste nummer af bladet havde en "gammel pedant" på denne plads en artikel med betragtninger over lægmænds og professionelle skribenters fejltagelser, når de skal skrive fysiske størrelser. Det var brugen af enheder og præfikser, som Carl-Erik Sølberg havde fokus på. Min glæde over, at der endelig blev skrevet om dette vigtige emne, blegnede en anelse, da jeg så, at artiklen ikke selv overalt fulgte reglerne og i øvrigt kun inddrog omtale af få af de velkendte fejltyper. Det vil jeg forsøge at råde bod på her i håb om, at vi så i fremtiden vil se færre eksempler på sløset omgang med fysiske størrelser. Desværre skyldes mange af fejlene nok ikke blot sjusk, men manglende forståelse og/eller viden, hvilket vel ofte kan føres tilbage til underviseres manglende fokus på emnefeltet.

For at komme i gang kan vi tage et konstrueret lærebogseksempel. Læseren opfordres til at tælle antallet af fejl i eksemplet:

Effekt er defineret som energiændring per tidsenhed,  $P = dE/dt$ , og har enheden Watt.  
... Den elektriske effekt kan udregnes ud fra formelen  $P_{el} = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$ , hvor  $U$  er spændingen målt i Volt,  $I$  er strømmen målt i Ampere, og  $\varphi$  er fasevinklen.  
... Ved jævnstrøm kan cosinuscoeffcienten dog udelades. Hvis en 3W elpære fx tilsluttes 5,6V kan Ampererne umiddelbart udregnes til 0.5357143.

Talte du også mindst 18 fejl? Måske 21? Således forskrækket kan vi tage fat på reglerne.

## Skriftsnit

I kursiv skrives

- Alle fysiske størrelser.
- Alle indices, der er fysiske størrelser. Eks.:  $C_p$  for varmekapaciteten ved konstant tryk.
- Alle indices, der er matematiske symboler for et tal.

I ordinær skrives

- Alle tal og præfikser.
- Alle enheder.
- Alle indices, der ikke er fysiske størrelser. Eks.:

$N_A$  for Avogadro konstanten og  $P_{el}$  for elektrisk effekt.

- Alle funktionsnavne. Eks.:  $\cos(\varphi)$ . Dette gælder også grundtallet for den naturlige logaritme,  $e$ . Eks.:  $e^{-kt} = \exp(-kt)$ .
- Differentialoperatoren  $d/dx$ . Eks.:  $P = dE/dt$ .

I dag anvender de fleste diverse tekstbehandlingsprogrammer, som gør det let at skrive endog komplicerede formler. Desværre retter en del formelrediger sig ikke umiddelbart efter gældende regler, men så må skribenten gribe manuelt ind!

Der er også grund til at advare mod Wikipedias lemfældige, inkonsekvente og ofte fejlagtige omgang med disse og andre skriveregler.

## Talværdier

Som nævnt skal talværdier altid skrives i ordinær skrift. Bortset fra dette er der ingen regler, kun ISO-anbefalinger:

- Brug et mellemrum til at adskille lange tal i grupper på tre, aldrig et punktum. Altså 12 345 i stedet for 12.345. Komma og punktum er reserveret som decimaltegn.
- I Danmark bruger vi decimalkomma, hvor megen engelsksproget litteratur – og vore lommegregnere – bruger decimalpunktum. Hvor ville det her være ønskeligt med en fælles verdensstandard, som tilmed blev fulgt. Men vær i det mindste konsekvent! Læseren skal ikke kunne være i tvivl om, hvad 12.345 betyder.
- For tal, hvis størrelser er under 1, skal der forud for decimaltegnet være et 0.
- Brug præfikser, for det er lettere at percipere 32 mm end 0,032 m. Et præfiks hører til den enhed, det er præfiks for. Eks.:  $1 \text{ cm}^3$  betyder  $1 (\text{cm})^3$ , så  $1 \text{ cm}^3 = (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$ , og  $1 \mu\text{s}^{-1} = (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 10^6 \text{ s}^{-1}$ .
- Overvej nøje antallet af betydende cifre i en angivelse, for der er stor forskel på 3,2 km og 3200 m. Usikkerheden skal ligge på sidste ciffer i angivelsen og oplyser derved om målenøjagtigheden. En tommelfingerregel er, at resultater af beregninger kan angives med så mange betydende cifre, som den dårligst bestemte af de indgående stør-



relser indeholder. I udregninger bruges dog alle de opgivne cifre, og afrundinger sker først i facit. For god ordens skyld: antallet af betydende cifre er antallet af cifre fraregnet foranstillede nuller. Også i denne sammenhæng er præfikser en gave til skribenten.

## Enheder

Mange enheder har navn efter en person, fx har Isaac Newton lagt navn til enheden newton, der har symbolet N.

- Enhedens navn skrives altid med lille begyndelsesbogstav. Der er forskel på enheden og manden bag: newton er noget andet end Newton!
- SI-enheder forkortes ikke, men har alle et **symbol**, i dette tilfælde N for newton. Bemærk, at N ikke er en forkortelse og derfor ikke må følges af punktum, undtagen som følge af normal tegnsætning. Reglen gælder kun SI-enheder, så kr. er en korrekt skrivemåde for kroner. Det er trist at se, at journalister gerne skriver "på en 3 km. lang strækning", og at kogeboogsforfattere mener, at der skal anvendes "25 g. gær".
- Man bør ikke stille krav om bestemte enheder:  $P = U \cdot I$  gælder, uanset hvilke enheder der anvendes for  $U$  og  $I$ , men selvfølgelig bliver enheden for  $P$  bestemt af valgene. Det kan dog anbefales at arbejde i afstemte enheder, for anvendes fx volt og ampere, fås effekten i formlen automatisk i watt, idet  $V \cdot A = W$ .
- Enheder er ens i ental og flertal: det hedder både 1 newton og 27 newton. Denne SI-regel forsynder megen engelsksproget litteratur sig mod.

## Fysiske størrelser

- Alle fysiske størrelser er et produkt af en talværdi og en enhed. Enheder kan aldrig undværes! Som skrækeksempel kan nævnes, at NASA i 1999 mistede en Mars-sonde til 125 millioner dollars, fordi to ingeniørhold regnede i forskellige enhedssystemer.
- Mellem talværdi og enhed skal der være et mellemrum. Eks.:  $l = 36$  km og aldrig  $l = 36$ km,  $t = 25$  °C og ikke  $t = 25$  °C. Eneste undtagelse er symbolerne for enhederne for vinkler, hvor enheden følger efter tallet uden mellemrum. Eks.:  $u = 30^\circ$ .
- Ved definition af en fysisk størrelse ser man ofte anvendte formuleringer som: "Ved effekt forstås man energitilvækst per tidsenhed.", hvor det retteligt skal være "energitilvækst per tid.", for "per" betyder "divideret med", så hvis tilvæksten er 360 J på 30 s, bliver regnestykket  $\frac{360 \text{ J}}{30 \text{ s}}$  og ikke  $\frac{360 \text{ J}}{1 \text{ s}}$ .

## Grafer og funktionsargumenter

- Kan man til brug for en graf i et koordinatsystem afsætte (3,2 V, 0,80 A)? Svaret er nej, for punkterne i et koordinatsystem udgøres af talpar. Det kan man komme om ved på akserne at have

$U/V$  henholdsvis  $I/A$ , for hvis man i  $U = 3,2$  V på begge sider dividerer med V, får man  $U/V = 3,2$ , hvilket jo er et tal. Med andre ord: Grafer over sammenhænge mellem fysiske størrelser skal på akserne have de fysiske størrelser divideret med de anvendte enheder.

- Ved matematiske operationer med fysiske størrelser skal funktionernes argumenter være tal eller dimensionsløse kombinationer af størrelser. Eks.:  $\ln(p/hPa)$ ,  $\exp(E/kT)$  og  $\sin(\omega t)$ . Bemærk specielt det første eksempel, hvor argumentet er størrelsen divideret med anvendt enhed!

## Tal, konstant, faktor og koefficient

- I lærebøger kan man læse om "Avogadros tal", selv om  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ikke er et tal, men en fysisk størrelse, i dette tilfælde en konstant.
- Hvis de fysiske størrelser  $A$  og  $B$  er forbundet ved sammenhængen  $A = k \cdot B$ , kaldes  $k$  en faktor, hvis  $A$  og  $B$  har samme dimension, i modsat fald kaldes  $k$  en koefficient.

## Spredte råd

- Brug altid  $\cdot$  som multiplikationstegn, medmindre der er tale om et vektorprodukt, hvor  $\times$  anvendes. Tiden er løbet fra anvendelsen af  $*$  som multiplikationstegn.
- Man kan måske blive i tvivl om, hvad 25 mN angiver. Er det 25 millinewton eller 25 meter  $\cdot$  newton, altså 25 joule? Hvis man her i sidste tilfælde skriver m N eller m-N, opstår tvivlen ikke. I  $M = 25$  Nm fortælles, at kraftmomentet er 25 newtonmeter.
- Brug altid standard-størrelsessymbolerne, altså fx  $F$  for kraft. Forskellige typer af kræfter kan så skelnes fra hinanden ved brug af indices. Det besværliggør læsningen, hvis en kraft pludselig får størrelsessymbolet  $p$ .
- Undlad at skrive om et legeme, at det har massen  $m$  kg, for hvis massen,  $m$ , er 7 kg, er  $m$  kg jo  $7 \text{ kg}^2$ .

## Hvor kommer reglerne fra?

Reglerne er baseret på lov nr. 246 af 12. maj 1976, der i §1 fastsætter, at grundlaget for "mål og vægt" er SI-enhedssystemet. Loven henviser i øvrigt til et Metrologiudvalg, hvis virke i dag er beskrevet på [www.daniamet.dk](http://www.daniamet.dk). Desuden har Dansk Standard – fra 1992 en del af Dansk Standardiseringsråd – gennem årene fastlagt en række krav og/eller anbefalinger, som jeg baserer mit indlæg på, specielt læner jeg mig op ad *Standard for SI-enheder. Fysiske størrelser, målenheder og symboler*, Dansk standardiseringsråd, 1985. Ved søgning på nettet kan man finde relevant materiale ved at bruge søgeordene "ISO 31" og "ISO 80000-2".

## Fejlene i eksemplet

Hvis det ikke lykkedes i første omgang at finde mindst 18 fejl, opfordres læseren til at prøve igen! ■

N  
A

N  
A

N  
A

# Hvad siger tallene?

Undersøgelser og tal fylder godt i de daglige nyheder. Men der er god grund til at kigge kritisk på de taltunge nyheder, for ofte er de skæmmet af fejlslutninger. Inge Henningsen guider her læseren gennem nogle af de mest almindelige fejl, man kan støde på.



## Forfatter



Inge Biehl Henningsen er lektor emeritus Matematisk Institut Københavns Universitet inge@math.ku.dk

“En ny undersøgelse viser, at...” Man skal ikke læse ret langt ind i dagens avis eller mange minutter ind i et nyhedsindslag på TV, før man bumper ind i en sætning i denne stil. Og så bliver man typisk bombarderet med tal, der skal dokumentere de påstande, der fremføres i historien. Tal giver nemlig historier en aura af præcision og vederhæftighed. Underkaster man disse taltunge historier et nærmere eftersyn, kniber det dog ofte med præcisionen. Der er nemlig mange faldgruber, når man beskæftiger sig med tal og statistik, og det kan være svært for menigmand – og journalister – at gennemskue.

I denne artikel vil jeg præsentere eksempler på mere eller mindre hensigtsmæssig talbrug i medierne, som jeg har samlet gennem tiden. At min primære kilde er *Politiken* er selvfølgelig ikke repræsentativt, men afspejler primært mine læsepræferencer. Jeg er dog overbevist om, at der kan findes mindst lige så mange eksempler på tvivlsom talbrug i de øvrige danske medier.

## Årsag og sammenhæng

I kvantitative analyser støder man ofte på den type fejl, hvor man forveksler sammenhæng med kausalitet og tror at finde en betydningsfuld årsagssammenhæng mellem to variable, mens sammenhængen i virkeligheden skyldes, at de begge påvirkes af den samme baggrundsvariabel. For at illustrere hvad der kan ske, når man “glemmer” at tage højde for sådanne komplicerende sammenhænge, vil man fx kunne se en interessant sammenhæng mellem indkomst og skostørrelse i den danske befolkning. Men det skyldes naturligvis, at mænd tjener ca. 20 % mere end kvinder, og mænd har også i gennemsnit større fødder. Derfor følges indtrægt og sko-nummer til en vis grad ad.

Oplever man også den slags falske sammenhænge i nyhederne? Ja! Fx foreslog Ulla Tørnæs som undervisningsminister, at matematiske elever i gymnasiet ikke måtte vælge et nyt sprog som andet fremmedsprog, men skulle fortsætte med det, de havde haft i grundskolen.





Foto: Colourbox

Begrundelsen hentede hun i en rapport, der viste, at hvis man opgjorde studentereksamensgennemsnit i forhold til elevernes valg af andet fremmedsprog, så klarede elever med fortsættersprog sig bedre.

»Nye tal, der netop er offentliggjort af Undervisningsministeriet viser, at matematiske elever med begyndersprog får de dårligste karakterer.«  
(Ulla Tørnæs, *Politiken* 11.5.2003)

Troede ministeren for alvor, at hvis elever fik fortsættersprog i stedet for begyndersprog, så fik de automatisk en bedre studentereksamen? Det er svært at forestille sig, at Ulla Tørnæs (eller i hvert fald hendes embedsmænd) ikke har haft øje for, at valg af fremmedsprog er en kompliceret proces, hvor mange faktorer herunder elevens generelle dygtighed spiller ind, og hvor der måske kan være en tendens til, at svagere elever vælger begyndersprog frem for fortsættersprog. Men hvis det er tilfældet, ændrer det jo ikke på noget at gennemtvinge et anderledes sprogvvalg, for det er ikke

sprogvalget i sig selv, der er årsag til eventuelle dårlige karakterer. Man kan i øvrigt spekulere på, hvad meningen er med at lave opgørelsen, men forfatterne af rapporten var for så vidt enige med ministeren i fortolkningen, idet de skrev

»Men man må dog sige, at tallene er vand på møllen hos dem, som mener, at matematiske elever bør have fortsættersprog frem for begyndersprog.«  
(Undervisningsministeriets pressefunktion 4. april 2003)

Hvis ikke denne påstand er direkte misvisende, så er den i hvert fald let at misforstå i retning af, at der er en direkte sammenhæng mellem valg af begyndersprog og dårlige karakterer. Hvordan kan resultaterne ellers være »vand på møllen« for dem, der vil afskaffe begyndersprog?

Et aktuelt eksempel, der er udtryk for samme tankegang, kan man finde omkring de facto afskaffelsen af førtidspension for unge under 40. Her er argumentet, at udelukkelsen fra arbejdsmarkedet fører til social eksklusion. Undersøgelser viser imidlertid, at det er handicap og psykiske vanskeligheder, der fører både til udelukkelse fra arbejdsmarkedet og social eksklusion, idet manglende arbejdsmarkedsdeltagelse ikke i sig selv påvirker den sociale eksklusion nævneværdigt.

### Årsag og virkning

Ovenfor så vi eksempler på sammenhænge, der kunne forklares ved tilstedeværelsen af en tredje faktor, der påvirkede de to man var i gang med at undersøge. Men nogle gange bliver årsag og virkning vendt helt om. De følgende citater er fra en undersøgelse af voksnes læsning fra 2001 af Torben Pilegaard Jensen og kolleger, hvor man bl.a. så på uddannelse og læsefærdigheder. Her står

- »... dårlige læsefærdigheder øger risikoen for at have oplevet ordblindhed.«
- »... det at være ufaglært er den mest afgørende faktor for at læse under minimumskravene.«

Er det virkelig den vej kausaliteten går? Prøv at sammenligne med følgende udsagn (som forfatteren selv står for)

- "en sygeplejeuddannelse øger chancen for at man oplever at være kvinde."
- "det at være fotomodel er den mest afgørende faktor for at se godt ud"

### Manglende repræsentativitet

I næsten alle statistiske undersøgelser prøver man at slutte fra egenskaber hos et mindre udvalg til en større population. Tænk fx på valgprognoser eller medicinske undersøgelser. I denne proces er *repræsentativitet*, det at det lille udvalg ligner den store population på væsentlige punkter, helt afgørende.

Manglende repræsentativitet kan ytre sig på mange måder. Nogle gange er der tale om manipulation, når man bevidst kasserer prøver og erstatter dem med andre for at få et ønsket resultat. Det kunne *Politiken* rapportere om i 2010, hvor den øverste chef på en boreplatform presser en ansat til at tage flere prøver og kun indrapportere dem med det laveste olieindhold til Miljøstyrelsen.

Et andet problem er, når udtagelse og/eller bortfald af prøver er knyttet sammen med det spørgsmål, man er ved at undersøge som i følgende uddrag fra *Politiken* den 11/4-1999:

#### Mistænkte æg havde salmonella

»Hvert tiende æg, der forlader de danske hønsebesætninger, er inficeret med salmonella. [...] Ud af de 50 besætninger, som Veterinær- og fødevarerdirektoratet gennem hele vinteren har haft mistanke til – uden at gribe ind – har myndighederne fået svar fra 18 af besætningerne. Heraf har ti besætninger fået konstateret salmonella, mens otte har klaret frisag. Holder tallene på landsplan, svarer det til, at mere end ti procent af de dansk-producerede æg er inficeret med salmonella, «

Mon ikke avisen kan være temmelig sikker på, at tallene ikke "holder på landsplan"? Er det et repræsentativt udvalg af besætninger, man har fået svar fra? Næppe. De oprindelige 50 besætninger må formodes at have en overgennemsnitlig chance for at levere inficerede æg, da de var udvalgt på grund af mistanke om salmonella. På den anden side må man formode, at de 18 besætninger, der faktisk har svaret, nok har troet, at det gik godt med salmonellaen. Hvordan man omsætter dette til en påstand om, at »Hvert tiende æg, der forlader de danske hønsebesætninger, er inficeret med salmonella« er næsten ubegribeligt. Det er ikke nogen undskyldning at gardere sig ved at skrive »Holder tallene på landsplan«. Man må have lov til at formode, at når en avis vælger at bringe en nyhed, så tror de selv på den.

#### Skævt fra starten

En anden side af repræsentativitetsproblemet er visse tværsnitsundersøgelser, hvor folk ikke har lige stor chance for komme med. Det kan fx illustreres af hospitalsindlæggelser. Hvis man vil undersøge, hvorfor folk kommer på hospitalet, nytter det ikke noget at tage alle, der er indlagt på en bestemt dag og se på deres diagnoser. Nogle sygdomme fører til længere indlæggelser end andre og disse patienter vil have en større sandsynlighed for at være indlagt på tællingsdagen. Så billedet bliver på den måde skævt, idet sygdomme med lang indlæggelsestid bliver overrepræsenteret.

Et andet eksempel kan findes i *Ugebrevet A4* fra den 10. august 2009, hvor man i en artikel: *Socialt udsatte fylder fængslerne*, konstaterede, at:

»Hver anden af de indsatte er blevet alvorligt svigtet som barn af sine forældre«.

Undersøgelsen var baseret på 3524 personer, der var indsat i april 2009. Men denne undersøgelse lider af den samme svaghed som hospitalsundersøgelsen ovenfor. Personer med lange domme har større chance for at være med i undersøgelsen. Samtidig ved man, at der er større chance for, at socialt udsatte begår lovovertrædelser, der fører til lange fængselsstraffe. Materialet er altså ikke repræsentativt i forhold til dem, der bliver dømt.

Man kan også møde forfattere, der har fået de statistiske regler galt i halsen og tror, at store datamængder opvejer manglende repræsentativitet. Det ser man fx i følgende citat, der stammer fra en undersøgelse af forsømmelser i gymnasiet fra år 2000.

»Den manglende tilfældige udvælgelse af klasser opvejes rigeligt af den store mængde modtagne spørgeskemaer.«

Som en studerende sagde, da jeg brugte ovenstående citatet i undervisningen:

»Det er rart for en fysiker at vide, at det ikke gør noget, at man måler forkert, bare man gør det gange nok.«

#### Undersøg et og udtal dig om noget andet

I sin fremragende bog *Innumeracy* har matematikeren John Allen Paulos følgende eksempel:

»Professor Dumholz tager tilfældigt en loppe fra en beholder på bordet, river bagbenene af den og kommanderer "spring". Der sker ingenting. Efter at have gentaget forsøget en lang række gange og anvendt de relevante statistiske metoder konkluderer han med overbevisning, at lopper hører med bagbenene.«

Et virkeligt eksempel på, hvordan man undersøge et og udtaler sig om noget andet, kan man finde i en meget omtalt undersøgelse fra Statens Institut for Folkehelse om prostitueredes sundhed fra 2013. I rapporten konkluderes bl.a., at prostituerede har et bedre psykisk arbejdsmiljø end danske kvinder generelt.

I artiklen har man brugt spørgsmålene fra en tilbagevendende landsdækkende undersøgelse af befolkningens sundhed og sygelighed (SUSY-undersøgelsen). Denne indeholder bl.a. en række spørgsmål om arbejdsmiljø, hvor det psykiske arbejdsmiljø er undersøgt ved to spørgsmål: »Om personen altid eller ofte ikke når sine arbejdsopgaver« og »Om man sjældent eller aldrig har indflydelse på, hvad man laver på sit arbejde.«

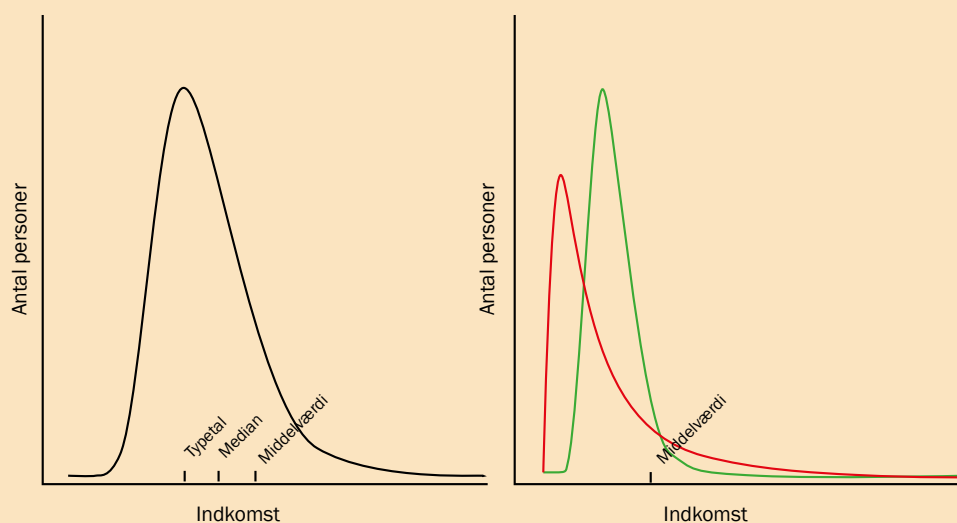
Disse to generelle spørgsmål adresserer helt oplagt ikke de særlige forhold, prostituerede arbejder under, og giver derfor heller ikke et retvisende



## Typetal, medianer og gennemsnit

Figuren til venstre viser en typisk indkomstfordeling og nogle størrelser, man kunne bruge til at karakterisere indkomstniveauet. På figuren er den typiske indkomst mindre end medianindkomsten, som igen er mindre end gennemsnitsindkomsten. Det gælder erfaringsmæssigt for de allerfleste indkomstfordelinger, og jo mere ulige indkomsterne er fordelt, des større forskel er der.

Figuren til højre viser to indkomstfordelinger med samme middelværdi.



billede af prostitueredes psykiske arbejdsmiljø. Det burde være indlysende, at man i en epidemiologisk undersøgelse af specielle grupper sikrer sig, at de indikatorer/markører, man bruger, har relevans for de pågældende gruppers situation. Det er ikke nogen undskyldning, at man i forvejen har målinger på noget andet (data fra SUSY-undersøgelsen). Det bliver let som Storm P's berømte tegning, hvor en mand leder efter sine nøgler under gadelygten »fordi der er så mørkt, der hvor han har tabt dem.«

### Tal taler ikke altid for sig selv

Den daglige avis er fuld af tal, der er med til at give nyhedsformidlingen et præg af præcision og vederhæftighed. Men tal er i virkeligheden kun informative, hvis man ved hvad de handler om. Som et eksempel kan man se på nedenstående uddrag af artiklen *Provinspiger vælger børn frem for abort* bragt i *Politiken* i maj 1998, der umiddelbart chokerede den på Frederiksberg bosiddende forfatter og flere af hendes veninder, da de læste om de næsten 4.000 aborter blandt unge kvinder i kommunen:

#### »Provinspiger vælger børn frem for abort

Unge piger i provinsen vælger oftere end deres medsøstre i hovedstadsområdet at gennemføre svangerskabet, hvis de bliver gravide. [...]

»Frederiksberg Kommune tegner sig for den største forskel. Her fik de 15-19-årige i 1996 3.769 aborter for hver 1.000 levendefødte børn. Københavns Kommune, Frederiksberg og Roskilde amter har alle over dobbelt så mange aborter som fødsler blandt teenagere. Vejle amt ligger i bund med 1.191 aborter for hver 1.000 børn, født af 15-19-årige mødre. [...]

Nu siger artiklen faktisk ikke noget om aborttallene blandt unge på Frederiksberg. Kun om det relative antal aborter i forhold til fødsler. Angivelsen "3.769 pr 1.000" ser imponerende nøjagtig ud – og aborttallet forekommer chokerende højt. Man kan imidlertid stille spørgsmålstegn ved om sammenligningen – aborter i forhold til fødsler – er særlig relevant for den almindelige avislæser og om den valgte basisværdi, "pr. 1000 levendefødte", er hensigtsmæssig. Et opslag i *Statistisk Årbog* viser, at der i 1996 var 13 fødsler og 49 aborter blandt de 15-19 årige på Frederiksberg. Selvfølgelig svarer "49 aborter og 13 fødsler" til "3.769 aborter og 1.000 fødsler". Men det budskab, der sætter sig i hukommelsen hos en person, som bare sidder og læser sin morgenavis, er meget forskellige afhængigt af hvilke forholdstal, man bruger. Artiklen er formentlig en direkte afskrift af en rapport fra Sundhedsstyrelsen eller en tilsvarende organisation. Om tallene er rigtige. Sikkert ja. Men er de informative. Helt sikkert nej.

### Typetal, medianer og gennemsnit

Når man skal beskrive en fordeling, fx indkomsten i et land, vil man gerne kunne nøjes med et enkelt tal, som man kunne kalde *middelindkomsten*. Men det viser sig i praksis, at sådan en middelindkomst ikke er noget entydigt begreb. Man kan vælge at angive den *typiske* indkomst, altså den indkomst som flest mennesker har (i matematikundervisningen kaldet *typetallet*). Man kan vælge at angive den *midterste* indkomst (*medianen*). Og endelig kan man vælge at angive *gennemsnitsindkomsten*. Men da de allerfleste indkomstfordelinger er karakteriseret ved en lang hale bestående af meget rige mennesker, så giver disse tre valg nok så forskellige resultater (se figur).



#### Videre læsning og kilder

Anders Arnfred, Pia Vivian Pedersen, Maria Holst Algren og Knud Juel (2013): Sundhed, sygelighed og trivsel blandt klinikprostituerede. Statens Institut for Folkesundhed (SIF), Syddansk Universitet

Jensen, Torben Pilegaard, Andersen, Angelo og Tue Halgreen (2001): Læsefærdigheder og deltagelse i samfundslivet. AKF Forlaget og SID, København.

Paulos, John Allen (1988): Innumeracy: Mathematical Illiteracy and its consequences, Hill and Wrang, New York.

Sinding et al (2000): "Rapport vedrørende elevforsømmelser i gymnasiet"

Derfor bruger folk typisk det tal, der passer dem bedst. Vil man vise velstand vælges gennemsnitsindkomsten. Vil man vise fattigdom vælges den typiske indkomst.

Da de tre begreber – *typetal*, *median* og *gennemsnit* – bruges i flæng i den offentlige debat, er der rige muligheder for misforståelser og manipulation. At journalister heller ikke altid har styr på begreberne, viser følgende citat fra *Politiken* 26/6-2000:

»Københavnere står i kø til ældreboliger I øjeblikket er der godt en måneds ventetid til en lille stue på et plejehjem, og det er den såkaldte medianventetid, som beskriver det almindelige forløb.

Bruges almindelig matematik, er den gennemsnitlige ventetid til plejehjem længere – omkring tre-fire måneder, fordi der er mennesker, der må vente endog meget længe, hvis de ønsker et helt bestemt plejehjem. Det trækker gennemsnittet op.«

I første afsnit forveksles den typiske ventetid og medianventetiden. I næste afsnit bruger journalisten ifølge artiklens eget udsagn "almindelig matematik" og beregner gennemsnitsventetiden. Den er i dette tilfælde større end både den typiske ventetid og medianventetiden, fordi der er nogen, der venter meget længe. Hvad der er den mest relevante oplysning kommer helt an på, fra hvis synsvinkel man ser sagen. Begge tal siger noget om ventetiden, men de måler ikke det samme, og forskellen på typetal og gennemsnit er i hvert fald bestemt af fordelingen og ikke af, om man bruger "almindelig matematik" eller ej.

#### Træn din talforståelse...

Med den omfattende brug af undersøgelser som baggrund for nyheder i medierne, er der god grund til at udvikle sin talforståelse og kritiske sans. Det er jo ikke kun journalister og menigmand, der kan gå galt i byen i brugen af tal – også fagfolkene bag undersøgelserne kan have fået dem galt i halsen. Og udover misforståelserne er der altid en fare for, at tallene bevidst fremstilles på en måde, så de er svære at gennemskue.

At se opmærksomt på tal er en træningssag og ikke noget, der bare kommer af sig selv.

Skal vi så ikke alle sammen til at lære mere statistik? Nej, det synes jeg egentlig ikke. At producere og formidle retvisende kvantitative opgørelser må først og fremmest påhvile de professionelle. Det er dem, der skal sørge for, at de ikke måler et og konkluderer om noget andet, at de bruger tal, der taler og ikke vrøvler, og at de ikke forveksler årsag og virkning eller finder sammenhænge, hvor der ingen er. Det kan ikke være den almindelige avislæser, der skal sidde og analysere selv banale talangivelser.

Men indtil vi oplever et sådant kvalitetsløft, kan man måske bruge artiklens eksempler som inspiration til at kaste et kritisk blik på de daglige nyheder. ■

## Kig nyhederne i kortene

Som forbruger af nyhedsmedier er det nyttigt at kende de relativt simple "greb", som man kan bruge til at screene for de mest almindelige fejlslutninger, man ser i kvantitative undersøgelser. Sådanne fejlslutninger kan fx skyldes, at man:

- sammenligner usammenlignelige grupper
- bytter om på årsag og virkning
- glemmer at tage hensyn til inhomogeniteter
- vælger en atypisk undersøgelsesgruppe, men generaliserer resultaterne.
- måler en ting og konkluderer om noget andet.

Når en undersøgelse er refereret i medierne, kan man som udgangspunkt starte med at spørge sig selv:

- Hvor mange personer har de spurgt?
- Hvordan er de udvalgt?
- Er de repræsentative?
- Hvad har man egentlig målt?
- Hvor stor usikkerhed er der på resultatet?

Det er ikke altid, at man kan læse sig til svaret – men så er der jo blot ekstra grund til at være kritisk!





# VÆLG DEN RIGTIGE UDDANNELSE FOR DIG

På Københavns Universitet har du gode muligheder for at opleve vores 21 natur- og biovidenskabelige bacheloruddannelser. Det giver dig optimale muligheder for at vælge den uddannelse, der bedst matcher dine ønsker. Du kan blandt andet:

- Blive "Studerende for en dag"
- Besøge os med din klasse

Læs mere og se film om vores uddannelser og dine mange muligheder på [science.ku.dk/ba](https://science.ku.dk/ba)



Like Facebook-siden [Læs på SCIENCE - Københavns Universitet](#) og få studieinfo direkte på din væg.

## Oplev 21 natur- og biovidenskabelige bacheloruddannelser på Københavns Universitet:

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

# Kongerigetets glemte Inge

Danske Inge Lehmann opdagede Jordens indre kerne i 1936, men det fik hun ikke meget kredit for i sit eget land. Først da hun tog til USA, kom hæderen. De amerikanske venner husker hende som en svimlende dygtig men sky forsker.

Hun rangerer som en af de største kvindelige forskere nogensinde og en af seismologiens grundlæggere. Og så er hun dansk. Jordskælvsforskeren Inge Lehmann fik fundamentet til at ryste under den mandehørmende seismologi, da hun i 1936 opdagede, at Jorden har en indre kerne.

Hun blev 104 år og døde i 1993, men i DR's arkiver findes ikke et eneste radio- eller tv-minut med hende, og to små hæfter er alt, hvad der findes af dansk populærlitteratur.

Det har DR dog for nyligt rådet bod på med en dokumentarfilm, der blev vist på DR K, og samtidig arbejder artiklens medforfatter på en biografi. Det var under researchen til begge, at et ukendt netværk af nulevende amerikanske venner dukkede op, der er ivrige efter at berette om den forbi-gåede danske videnskabskvinde.

## Pension i Danmark, forskning i USA

Inge Lehmann (f. 1888) var stresset, gammel og dødtæt af sine inkompetente mandlige overordnede, da hun i 1951 fik besøg af Lamont Geological Observatorys karismatiske leder Maurice Ewing i København. USA var begyndt at investere stort i den gryende seismiske forskning, og det var ikke svært for Ewing at lokke Inge Lehmann med til Lamont.

Hvor hun var overset og dømt til at forske i sin fritid i Danmark, så blev hun nu behandlet som en stjerne. I 1953 lod hun sig pensionere fra sin stilling som statsgeodæt og mangeårige leder af Geodætisk Instituts seismiske afdeling for de næste par årtier at pendulere mellem Lamont nord for New York og sit hjem i København.

Syriskfødte Muawia Barazangi var ung kandidatstuderende på Lamont i 1960'erne, og han er bindeleddet til Inge Lehmanns gamle bekendtskaber i USA. Flere af dem befinder sig i dag i seismologiens absolutte top.

»Det var en tid, hvor seismologien som felt exploderede, men det var en mandeverden. Havde Inge Lehmann ikke bidraget med en stor opdagelse, så havde de marginaliseret hende. Det var ikke et sted for kvinder,« husker han.

Den store opdagelse, han hentyder til, var Inge Lehmanns opdagelse af Jordens indre faste kerne i 1936. Spørgsmålet om jordens indre var et varmt emne i datidens seismologi. De sparsomme data fra jordskælv pegede på, at kernen var flydende hele vejen igennem, men Inge Lehmann påviste nogle oversete jordskælvsbølger på seismogrammerne, som passede med en fast kerne.

Allerede i 1934 var hun ret sikker på opdagelsen, men der gik et par år med at fintune teorien, før hun overlegent udgav den under måske historiens korteste titel på en videnskabelig artikel, "P" (P mærke).

## Den generte stjerne

Den spraglede ingeniør George Hade husker også Inge Lehmann fra Lamont-tiden. Han fortæller, hvordan han sammen med et par andre tog hende med ned i en zinkmine for at se deres underjordiske seismologiske station.

»De fleste minearbejdere var fra Ungarn, og de havde aldrig set en kvinde gå under jorden før. Det var et stort tabu. Men vi fik hjelm og lampe

### Om forfatterne



Gunver Lystbæk Vestergård er erhvervsph.d-studerende i videnskabsjournalistik. Experimentarium og Center for Videnskabsstudier ved Aarhus Universitet. [gunverv@experimentarium.dk](mailto:gunverv@experimentarium.dk)



Lif Lund Jacobsen er forsker ved Rigsarkivet, København og arbejder på en biografi om Inge Lehmann. [llj@sa.dk](mailto:llj@sa.dk)





Inge Lehmann bliver i 1964 æresdoktor ved det prestigefyldte Columbia University i USA, hvor hun havde forsket i en årrække.

Fotokredit: GEUS.

## Inge Lehmanns akademiske karriere

Siden 1875 har kvinder haft ret til en universitetsuddannelse i Danmark, men kun få fik mulighed for at forske eller blive ansat på universitetets naturvidenskabelige institutter. Denne skævhed er bevaret til i dag, hvor kun 10 % af alle danske naturvidenskabelige professorer er kvinder (mod for eksempel Tyrkiets 26 % og Portugals 33 %). Ser vi på det samlede antal kvinder i forskning, så er Danmark Nordens nummer sjok med kun 30 % (mod fx Sveriges 39 %).

Inge Lehmanns akademiske karriere led under den manglende ligestilling. Havde hun ikke være stædig og usædvanlig talentfuld, var hun aldrig blevet forsker.

1906: Student fra Hanne Adlers Fællesskole (nu Sortedamskolen)

1907: Indskrives på Københavns Universitets matematisk-naturvidenskabelige fakultet.

1910: Fortsætter matematikstudierne i Cambridge, men må året efter afbryde sine studier på grund af svær stress.

1918: Efter at have arbejdet på forsikringskontor i otte år genoptager hun sine studier og bliver kandidat i 1920 fra Københavns Universitet. Hun arbejder herefter som assistent for forskellige matematikprofessorer, men må erkende, at matematikvejen er lukket for kvinder.

1928: Tager en magisterkonferens i geodæsi og bliver ansat som chef for den Seismiske Afdeling på Geodætisk Institut. I alt er Inge Lehmann indskrevet ved Københavns Universitet i omkring 14 år. Hun fik aldrig en ph.d.-grad eller et professorat, men blev i 1964 æresdoktor ved Columbia University i erkendelse af hendes store forskningsindsats. Københavns Universitet fulgte trop fire år efter. Da var hun 80 år gammel.



Kilde: *Magisterblade nr.1, 2015 p. 50-51/Europa-Kommissionen, "She Figures 2013 Gender in Research and Innovation"*



## Seismologi og jordens indre kerne

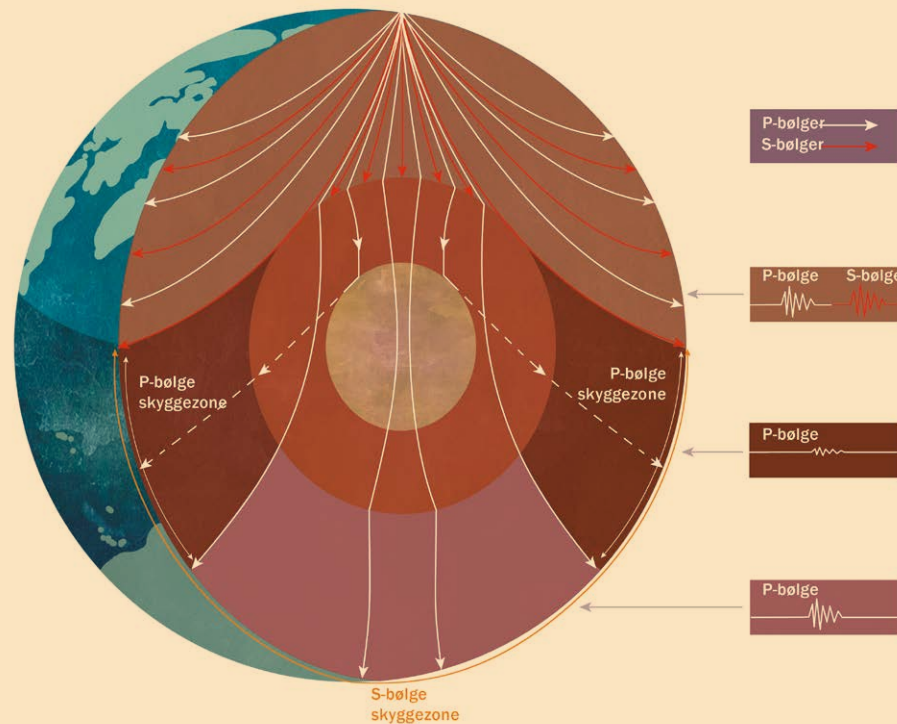
Seismologi er læren om, hvordan bølger bevæger sig igennem Jorden, typisk efter et jordskælv.

Ved et jordskælv dannes to slags seismiske bølger, som kan aflæses på seismografer: P-bølger (primærbølger), som er trykbølger og bevæger sig hurtigst, og S-bølger (sekundærbølger), der svinger fra side til side i et langsommere tempo. S-bølger kan ikke bevæge sig igennem flydende materiale, mens P-bølger kan bevæge sig igennem både fast og flydende materiale, men brydes ved overgange.

Siden 1926 var videnskaben enige om, at jorden havde mindst to lag: Et ydre fast lag og en flydende indre kerne. S-bølger blev stoppet af kernen, og derfor måtte den være flydende. Det modbeviste Inge Lehmann i 1936, da hun observerede, at nogle P-bølger opførte sig usædvanligt og dukkede op et andet sted end forventet. Altså måtte de være blevet brudt af noget inde i kernen – en overgang fra flydende til fast materiale. Inge Lehmann havde opdaget en tredje og fast indre kerne.

Illustrationen viser, hvilke P- og S-bølger efter jordskælv man observerede på Inge Lehmanns tid. De stiplede linjer viser de P-bølger, som Inge Lehmann tolkede som bevis på, at der var en materialeovergang inde i kernen, som brød P-bølgerne. Det var blandt andet efter et jordskælv i New Zealand, at Inge Lehmann på seismografen i København så disse P-bølger, som ikke burde kunne nå København, hvis kernen kun var flydende.

Billedkredit Experimentarium.



### Lehmann-diskontinuiteten

Inge Lehmann opdagede udover den indre faste kerne, at der cirka 220 kilometer nede i Jordens kappe er en overgang mellem forskellige materialer. I hvert fald begynder de seismiske bølger at ændre sig omkring den dybde. Præcis hvad overgangen, der i dag kaldes Lehmann-diskontinuiteten, består af, vides ikke med sikkerhed.

på hende, som godt nok var noget tungt, men det dækkede da hendes hår. Så gik vi ind i det her bur af en elevator, hvor vi sørgede for at skjærme hende fra de andre. Hun var den første kvinde i den mine.»

George Hades overskudslager af jokes bed dog ikke på hende.

»Nej, hun lyttede aldrig til mine historier. Altså jeg socialiserede jo ikke med hende på den måde. Vi var ikke kammesjukker.«

Nej, Inge Lehmann var en sky person, men én kom tættere på end de fleste. Judy Healey var assistent på Lamont for topforskeren Jack Oliver, og hun blev Inge Lehmanns betroede veninde.

»Hun havde ingen bil, så jeg kørte hende rundt. Hun var meget stille og genert, men utrolig venlig,« fortæller Judy Healey, der har gemt hendes breve. Det er maskinskrevne pergamentsider, der afslører en bestemt dame. 91-årige Inge Lehmann indledte i 1979 sit brev med følgende opsang:  
»For næsten et år siden fik jeg en lille note fra dig

om, at du ville skrive et brev til mig. Jeg har ventet håbefuldt på det brev. Hvornår får jeg det? Når man tager i betragtning, hvor let du har ved at skrive, så tænker jeg, at jeg snart skal få det.«

Herefter klager hun over det danske vejr, der »altid er elendigt.«

Inge Lehmann blev aldrig gift og fik ingen børn. Hun brød en forlovelse i sin ungdom for at lade sig genindskrive på universitet og havde ifølge familielegenden som ung et forhold til en skiinstruktør i Alperne, men ellers er det sparsomt med viden om hendes kærlighedsliv. Judy Healey talte aldrig med Inge Lehmann om mænd, men husker dog en enkel sætning.

»Hun sagde, at der var en, hun var vild med, men at han var taget.« Judy Healey vil ikke gætte på, hvem det var, men det vil George Hade.

»Harold Jeffreys!« udbryder han.

Harold Jeffreys var en berømt engelsk videnskabsmand, der var næsten jævnaldrende med Inge Lehmann, og som hun havde korresponderet med



siden 1930'erne, men han var gift.

En enkelt ung ambitiøs mand blottet for genert-hed inviterede dog Inge Lehmann ud, mens hun var i USA. Peter Molnar var dengang studerende, men er i dag kendt for sit bidrag til pladetektonikken, og i 2014 var han forbi den svenske konge Carl Gustav for at modtage Crafoord prisen, geofysikkens pendant til nobelprisen.

»Jeg jokede med, at jeg havde en date med en 80-årig kvinde. Jeg var selv 27,« griner han.

Peter Molnar og de andre studerende vidste udmærket godt, hvem denne ældre, reserverede, skandinaviske kvinde i nabokontoret var.

»Jeg vidste, hun var en kæmpe i seismologien. Vi vidste alle, at vi var i stue med en helt særlig person,« husker han.

### Atombomber i stilhed

Mens Inge Lehmann var på Lamont, sendte atomalderen paddehatteskyer op fra ørkensand og havvand, og det fik kloden til at ryste. En del af hendes arbejde var at tyde seismogrammerne efter de mange atomprøvesprængninger som en del af projektet Vela Uniform.

Lynn Sykes begyndte som ph.d.-studerende på Lamont i 1960. Han fortæller, hvordan Inge Lehmann indirekte hjalp koldkrigsforskningen gennem sine omhyggelige granskninger af de bølgede grafer.

»Hun brugte data fra to prøvesprængninger – en i Gnome i New Mexico og en i Salmon i Mississippi – til at vise, at seismiske bølger bevæger sig hurtigere i gammel geologi end i ny, og det viste sig at være vigtigt, når man skulle udregne størrelsen på de sovjetiske eksplosioner, som fandt sted i områder med gammel geologi,« siger Lynn Sykes. Han fortæller også, hvordan den aldrende kvinde som det første om morgenen tog sine vandrestøvler på.

»Hun kendte alle stierne omkring Lamont og gik en tur alene hver morgen.«

I det hele taget var roen og stilheden vigtig for Inge Lehmann. I en tid før computere skulle alle data aflæses manuelt og udregninger gøres i hånden. Som uddannet matematiker mestrede hun den kunst som ingen andre, hvilket især de amerikanske kollegaer beundrede hende for. Det var dog noget, der krævede stor koncentration, og måske derfor have Inge Lehmann hele sit liv været stærkt støjfølsom.

På Lamont gjorde man sig store anstrengelser for at sikre hende ro og fred, og til gengæld stillede den beskedne Inge Lehmann få krav til komforten og var ikke for fin til at svinge malerpenslen, hvis hun syntes, at køkkenet i Lamonts gæstehus så for slidt ud.



Farvelfest for Inge Lehmann i 1954, da et af hendes mange forskningsophold i USA slutter.

Fotokredit: Lamont-Doherty Earth Observatory.

### En ommer Danmark

I midten af 1960'erne var den megen rejseaktivitet efterhånden begyndt at tære på kræfterne hos den aldrende kvinde. Inge Lehmanns sidste lange opholdt på Lamont var i foråret 1968. Da var hun fyldt 80 år. Hun fortsatte sin forskning endnu et par år, men hendes syn, som hun var så afhængig af for at kunne aflæse seismogrammerne nøjagtigt, var begyndt at svigte hende, og hun magtede ikke længere at begynde på nye projekter. Samtidig havde seismologien og computervidenskaben udviklet sig voldsomt, og ny teknologi gjorde delvis hendes metoder overflødige.

Hun bibeholdt dog sin skarpe hjerne, og sammen med en yngre kollega skrev hun 99 år gammel sin sidste videnskabelige artikel.

I 1971 modtog Inge Lehmann Bowie medaljen, der er en af de største hædersbevisninger, en seismolog kan få. Syv år forinden var hun blevet æresdoktor på Columbia University, som Lamont hører under. I 1962 skrev Harold Jeffreys til Niels Bohr for at spørge, hvorfor Inge Lehmann ingen hæder havde fået i Danmark, og det endte med, at hun i 1965 fik tildelt Videnskabernes Selskabs guldmedalje.

Hver og en af de amerikanske kilder er chokerede over at høre, at Inge Lehmann ikke er kendt i Danmark. Lynn Sykes regnede med, hun var lige så berømt som Niels Bohr, og Peter Molnar sender en decideret sviner af sted mod den lille andedam. »Det er jeg forfærdet over at høre. Det er jo helt latterligt. Jeg er nødt til at sige, at det sætter danskerne i et meget dårligt lys, eller i hvert fald de danske mænd.«

Inge Lehman er begravet på Hørsholm Kirkegård ved siden af sin far Alfred Lehmann, men hendes lille sten ligner en, man giver til et for tidligt født barn. Måske det var det, hun var? For tidligt født i et kongerige, der endnu ikke var parat til at hylde sine kvindelige forskere. ■

#### Videre læsning

Artiklen er baseret på en artikel i Weekendavisen 3. oktober 2014 med titlen "Inges amerikanske slæng", skrevet af Gunver Lystbæk Vestergård.

Læs mere om Inge Lehmann og andre store danske videnskabsfolk som Bohr, Ørsted, Steno, Krogh og Brahe i DR's dokumentarserie på videnskabsfolk.dk.

## BOGANMELDELSE

## Det dyrebare

Anmeldt af Peter K.A. Jensen, speciallæge i klinisk genetik.  
peter.kaj@hotmail.com

I forbindelse med den permanente udstilling, Det dyrebare, på Zoologisk Museum i København har museet udgivet bogen *Det dyrebare - historierne om museets største skatte*.

Bogen er en dokumentation af, at Statens Naturhistoriske Museum (hvorunder Zoologisk Museum i dag hører) huser en naturhistorisk samling, der hører til blandt verdens mest betydningsfulde. I bogen er omtalt genstande, der har bidraget med afgørende viden om Sol-systemets oprindelse og om livets oprindelse og efterfølgende evolution, som i løbet af næsten 4 milliarder år har frembragt den helt utrolige diversitet i biosfæren, der omgiver os i dag.

Bogens mange forskellige historier giver et indblik i de genstande (naturalier), der har spillet en særlig rolle for naturvidenskabens historie, men er også en fortælling om skiftende tiders naturopfattelser og det farverige persongalleri af aktører, der i tidens løb har bidraget til samlingen.

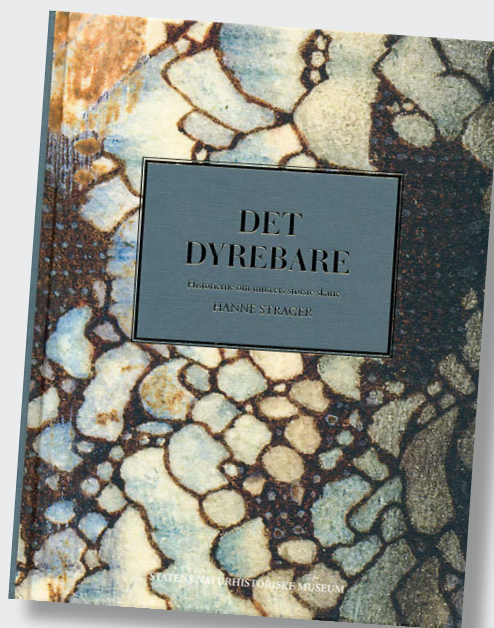
Af bogens indledning fremgår det, at det er nogle af de bedste af de mange genstande i udstillingen, der er udvalgt til bogen. Men bogen er desuden suppleret med historier om nogle genstande, der af den ene eller den anden grund ikke har fundet plads i udstillingen. Selv om jeg (endnu) ikke har set udstillingen, synes bog og udstilling således at supplere hinanden.

Fra bogens indledning citeres: »Det kostbare og det kuriøse, det smukke og det mærkelige, det uforståelige og dét, vi er blevet forstandige af. Museets skatkammer rummer alverdens ting, som er blevet indsamlet gennem de seneste 400 år, fordi de var noget særligt.«

## Kommer vidt omkring

Bogens historier spænder meget vidt. Den indledes med en historie om tilblivelsen af *Flora danica*. Om hvordan den unge tyske læge og botaniker, Christian Georg Oeder blev ansat af Frederik V til at indrette byens botaniske have. Oeders ambition var intet mindre end – og helt i Oplysningstidens ånd – at skabe et billedværk over alle rigets planter, *Flora danica*. Værket skulle være til glæde for såvel lærd som lægmand. Arbejdet skulle dog vise sig at være kolossalt stort, og det kom til at strække sig over 122 år. I alt blev der stukket 3.240 kobberplader, hvoraf næsten alle eksisterer den dag i dag. *Flora danica* blev en international succes, der kastede glans over konge og land.

Et andet nedslag er historien om gæren og det syge øl. Stort set al øl i verden brygges med en gærkultur, der blev rendyrket af danskeren Emil Christian Hansen i 1880'erne. Hansens fortjeneste blev at finde løsningen på alle brygges mareridt, den såkaldte ølsyge, der ødelagde øllet og gjorde det udrikkeligt. Hansen fandt ud af, at ølsygen ikke skyldtes bakterier, som man ellers havde mistanke om, men i stedet forurening med såkaldt vildgær. Hansen forfinede metoden til at dyrke gær i en helt ren kultur, som han navngav *Saccharomyces*



*carlsbergensis*. Museet rummer hans samling af mikroskoppræparater af den berømte gærcellekultur, der reddede ølbrygningen på Carlsberg og i det meste af resten af verden.

Et tredje nedslag kan (helt bogstaveligt) være de tre historier om meteoritter i bogen. En af disse handler om den grønlandske kæmpe-meteorit, Agpalilik (den vejede 20,1 tons, da den blev fundet og er dermed verdens tredjestørste). Den blev opdaget i 1818 af englænderen John Ross ved kap York nær Thule i Nordvestgrønland. Men først i 1967 blev den – under foranledning af den danske meteorit-ekspert, Vagn Buchwald – bjerget og fragtet til København. Den kan i dag ses i gården foran Geologisk Museum.

Historien om den grønlandske fisk på fire ben *Ichtyostega* ("fisketag") er også værd at nævne. Fossilet blev fundet i 1931 af et hold under ledelse af den danske geolog Lauge Koch. Det er et af de vigtigste fossiler, der nogensinde er fundet, idet det er det ældste fossil, der viser, hvordan livet bevægede sig fra havet op på landjorden på overgangen mellem de geologiske perioder Devon og Karbon. Bogens historie rummer Eigil Nielsen oprindelige beretning om fundet og den første videnskabelige beskrivelse af fossilet, der blev overladt til den svenske palæontolog Erik Jarvik.

## Flot og fængslende

Dette lille udpluk illustrerer kun på fattig vis spændvidden i denne fantastiske, flotte og fængslende bog, der fortjener alle de stjerner, der gives ved sådanne lejligheder. Bogen er i lige grad en spændende kulturhistorisk beretning og en række fortællinger om betydningsfulde begivenheder i dansk naturvidenskabens historie. Alle historierne krydres med smukke illustrationer.

Bogen kan uden betænkeligheder anbefales.

Hanne Strager: *Det Dyrebare*. Statens Naturhistoriske Museum 2014. 237 sider, 249,- kr.



## BOGANMELDELSE

## UDGIVELSER

## Blomsterliv

Anmeldt af lektor Bent Nielsen, Københavns VUC, bn@kvuc.dk

Ved en tilfældighed havnede den aldrende fotobog *Jorden set fra himlen* af Yann Arthus-Bertrand på mit skrivebord samtidig med *Blomsterliv* af biologen og fotografen Jens H. Petersen. Hvad den første bog leverer af fantastiske og smukke mønstre, når man ser det hele lidt fra oven, leverer den anden, når man går tæt tæt blomsternes kønsliv. Det er utrolig fascinerende.

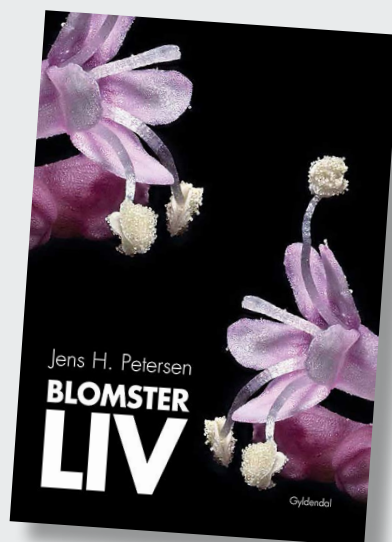
Bogen giver på de første ca. 30 sider en basal indføring i planteanatomi og -fysiologi med hovedvægten på forplantningsbiologi. Stof, der ikke længere kan forventes at være på plads, når eleverne forlader folkeskolen. Dette gøres med illustrative, kommenterede nærfotos. Teksten er kort og klar og kan kapers af alle, stort set uden kendskab til biologi.

På de næste halvanden hundrede sider går bogen så tæt på 72 mere eller mindre almindelige danske blomsterplanter. Ikke alle hjemmehørende, men dog planter, man let kan støde på, hvis man færdes i naturen. Planterne er ordnet i overensstemmelse med deres systematiske placering. Nogle familier repræsenteret med flere nærtstående arter. Hver plante har både et dansk og et latinsk navn og følges af en kort tekst, der beskriver blomstens opbygning, lidt om voksested og evt. en lille kort anekdote, der knytter sig til folketroen, til plantens anvendelse eller en anden interessant historie. Om Korn-valmuen står fx, at efter 1. verdenskrig blev de intenst blomstrende, blodrøde belgiske marker et symbol på krigens rædsler.

## Få mangler

Men det er ikke på grund af teksten, at denne bog er interessant. Det er først og fremmest de meget smukke fotos, der vækker interesse. Det hele startede da også som et kunstprojekt, hvilket man kan læse mere om på forfatterens hjemmeside. Her er også et udvalg af andre imponerende fotos fra hans virke som biolog og især fotograf. Flot arbejde.

Skal man så have de kritiske briller på, og det skal man jo som anmelder, så er der nogle ting, der kunne være bedre. Først og



fremmest ødsles der med pladsen. Nogle fotos er ret små, samtidig med, at den kortfattede tekst ikke fylder siden ud. Det er ret ærgerligt, da nogle af de små fotos havde fortjent bedre. Forsidebilledet er heller ikke det mest iøjefaldende, men her er forfatteren uden skyld, fremgår det af en opdatering på hans Facebookprofil. Forlaget forkastede et bedre forslag.

Hvad angår teksten mangler nogle mere dybtgående forklaringer, fx af symbioseforholdet, når plante og svamp danner mykorrhiza. Desuden mangler en angivelse af støvfangeren på billedet af blomstens opbygning. Det nævnes ellers ofte i teksten. Men den slags skønhedsfejl skal der være plads til, når æstetikken er i højsædet.

## En inspirationsbog til biologien

Hvem vil så købe bogen? Som lærebog kan den ikke bruges. Men den burde kunne finde vej ind på skolebiblioteket, så eleverne måske kunne blive interesseret i biologi og de fascinerende detaljer, der toner frem, når linsen zoomes ind. Selv har jeg købt et eksemplar som gave til en person, der har denne fascination, men som savner erfaring med den danske flora.

Af Jens H. Petersen: *Blomsterliv*. Gyldendal 2014. 204 sider, 249,95 kr. ■



## Forandringens vinde

*Forandringens vinde* indeholder 9 historier om teknologi fortalt af fire garvede videnskabshistorier. Med udgangspunkt i emnerne energi, kommunikation og it samt militær beretter forfatterne om, hvordan og hvorfra teknologien kommer, samt hvilke ofte kringledede og overraskende veje dens udvikling har taget, inden den er gledet ind som en helt naturlig del af vores dagligdag. Henry Nielsen, Kristian Hvidfelt Nielsen, Keld Nielsen og Hans Siggaard Jensen: *Forandringens vinde – nye teknologihistorier*. Praxis – Nyt Teknisk Forlag 2015. 375 sider, 329,- kr.



## Kundskabens træ

*Kundskabens træ* har stamme og rod fælles med menneskets stamtræ, skriver Jan Faye i indledningen til sin nye bog, som han betegner som et naturalistisk og pragmatisk forsvar for videnskabernes enhed. En naturalistisk tilgang til videnskabsfilosofien kan hjælpe os til at opnå en mere generel forståelse af videnskabernes muligheder og begrænsninger, mener forfatteren. Bogen er et opgør med de dominerende retninger i videnskabsfilosofien siden kant, og den bygger på forfatterens egne overvejelser fra mere end 40 års arbejde med videnskabernes filosofi.

Jan Faye: *Kundskabens træ*. Samfundslitteratur (2015). 355 sider, 399,- kr.

## Aktuel NATURVIDENSKAB

### Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

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

### Styregruppe

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

### Redaktionsgruppe

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

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

### Ansvarshavende

Kommunikationschef Elin Møller

### Redaktion

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

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

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

### Abonnementspris 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:** Koncepttegning af ESS. I forgrunden ses acceleratoren der leder ind til targetbygningen midt i billedet. Instrumenterne er placeret i og omkring targetbygningen. Bag ved ESS kan man se MAX IV synkrotronen og helt ude i horisonten kan man skimte Malmø og Øresundsbroen

Illustration: ESS/Team Henning Larsen Architects.



## 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 abonnementet 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  
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.

## Udsalg

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.

## Nye tilbud fra Aktuel Naturvidenskab

# Nu bliver Aktuel Naturvidenskab mere digital

## Nyt nyhedsbrev

Tilmeld dig vores 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)



## Nyt artikelarkiv

Vi har forbedret brugeroplevelsen online med et helt nyt artikelarkiv. Det nye arkiv har bl.a. udvidede søgemuligheder og præsenterer artiklerne på en mere visuelt indbydende måde. Artikelarkivet tæller i skrivende stund mere end 1100 artikler, som er frit tilgængelige.

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 ☺



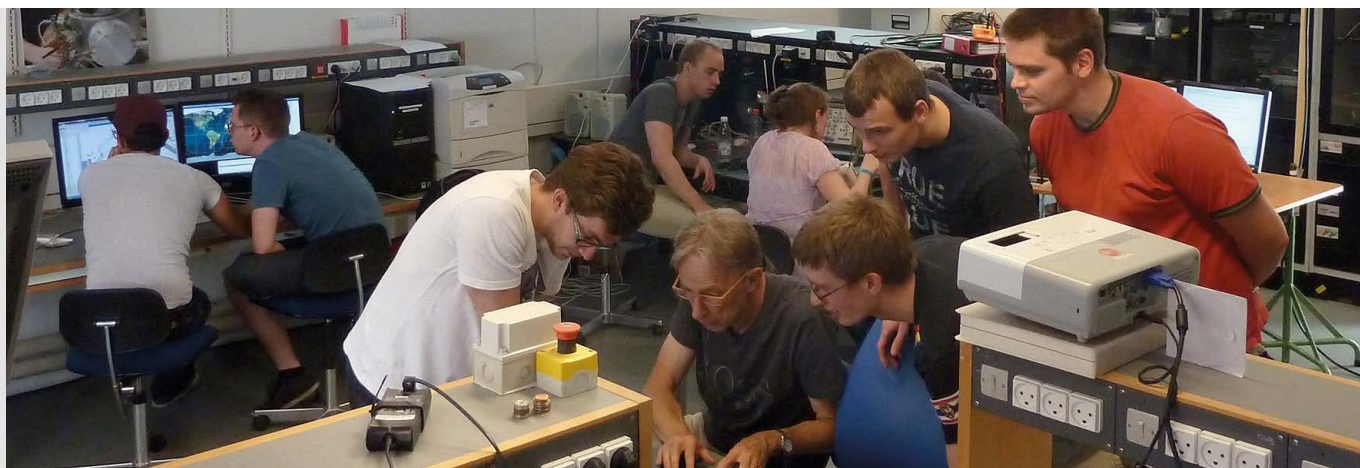


Foto: AAU Studentspace

# Mini-satellitter på samleband

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Store armbevægelser er vigtige inden for rumfart, da det kræver et vist mål af visioner og gåpåmod at kaste sig ud i at konstruere fx satellitter. Derimod er store armbevægelser ikke velkomne i laboratoriet, hvor man bygger det højteknologiske isenkram. »Selv om en satellit, der skal sendes i kredsløb om jorden, skal kunne holde til lidt af hvert, kan dens "bløddele" være yderst delikate i forskellige faser af konstruktionsprocessen,« fortæller Jens Dalsgaard Nielsen, der er lektor ved Institut for Elektroniske Systemer ved Aalborg Universitet. Derfor formaner han altid sine studerende om at være meget forsigtige, når de håndterer de skrøbelige komponenter. Det forhindrer ham dog ikke i selv at komme galt afsted ind imellem. Han husker fx en episode, hvor han var ved at gøre AAUSAT3 klar til opsendelse. Arbejdet foregik efter alle kunstens regler i et renrum og iført kittel, antistatiske træsko og hvad der ellers hører til af forskriftsmæssigt sikkerhedsudstyr. Alligevel lykkedes det ham uforvarende i et splitsekund at berøre en antenne. Da de studerende senere på dagen højlydt undrede sig over, at satellittens radiosystem var brændt sammen, måtte Jens bryde sammen og erkende, at han var synderen og stod til den efterfølgende skideballe. »Og man må jo også bare erkende, at den slags kan ske, når man tager hænderne op ad lommen,« siger Jens. Efterfølgende "ryddede" de studerende op efter ham og fik repareret radioen. Og den har siden vist sin kvalitet under den succesfulde mission.

## Initiativrige studerende

I 10 år har Jens Dalsgaard Nielsen været involveret i satellitproduktion i Aalborg Universitets StudentSpace-program. Æren for, at der bygges satellitter i Aalborg tilfalder i meget høj grad de studerende. For det var de studerende selv, der i kølvandet på begejstringen med den danske Ørsted-satellit og inspireret af et nyt minisatellit-koncept kaldet Cubesat opfundet af amerikaneren Bob Twiggs fik sat det hele i gang. Som navnet siger, er der tale om små terningformede satellitter, der måler kun ca. 10x10x10 centimeter. Til opsendelse er der udviklet en launchkasse, der nemt monteres på raketten. »Studerende ved Aalborg Uni-

versitet var med til at bygge den allerførste Cubesat, der blev sendt i omløb i juni 2003. Og siden har vi så kunnet holde gryden i kog og fortsætte med at bygge satellitter«, fortæller Jens. Indtil nu er tre Aalborg-fremstillede cube-satellitter sendt i kredsløb og to mere er under forberedelse. AAUSAT4 er en ud af tre cubesats udvalgt af et europæiske rumagentur (ESA) til en gratis flyvning, og AAUSAT5 vil i Danmark få særlig bevågenhed, da den efter planen skal sendes op i samme mission, som også Danmarks første astronaut Andreas Mogensen er med på. De studerende er i skrivende stund i fuld gang med at gennemføre de afsluttende tests inden aflevering til ESA for opsendelse.

## Tæt på virkeligheden

Den seneste Aalborg-byggede satellit i kredsløb (AAUSAT3) blev sendt op i februar 2013 og var i drift i godt halvandet år. Dens mission var at opsamle identifikationssignaler fra skibe, som normalt rækker ca. 60 km. Det lykkedes at få AAUSAT3 til at opsamle disse signaler fra rummet på en afstand af 600-2.000 km.

Men Jens Dalsgaard Nielsen mener, at de mest interessante resultater i virkeligheden er de unikke erfaringer, de studerende får under arbejdet med at konstruere en satellit, der skal bruges i virkeligheden. Det kræver teamwork, da man skal arbejde med alt fra antennedesign til "rumlovgivning". Og det kræver masser af engagement, da en stor del af arbejdet foregår som et fritidsprojekt sideløbende med studierne.

Da der ikke er en stor rumfartsindustri i Danmark, havner de fleste af de satellit-byggende studerende i andre typer jobs efter endt uddannelse. »Men vi har dog i Danmark heldigvis en række konsoliderede spacefirmaer som Terma og nye firmaer som Gomspace i Aalborg, der netop er startet af gamle AAUSAT-studerende,« fortæller Jens. »Og vi plejer også at sige, at hvis de nyuddannede har kunnet lave en satellit og afvikle en mission, er der nok ikke så meget andet, de ikke kan finde ud af.«

Læs mere: [www.space.aau.dk](http://www.space.aau.dk) ■