

A hand is holding a chain of small, shiny, metallic spheres that are arranged in a vertical line, resembling a necklace. The spheres are highly reflective and appear to be made of a magnetic material, as they are clustered together in some places and more spread out in others. The background is dark, making the metallic spheres stand out.

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL
*natur*VIDENSKAB

**MAGNETBLANDING
GØR STÆRK**

Fostrets GENER under lup
GRØNLANDS DELTAER vokser i det varmere klima
STONEHENGE og den kulturelle astronomi

NR.5 - 2017 NOVEMBER : 50 KR.

Giv plads til æstetik i naturfagene

Nyttetænkning dominerer tidens opfattelse af, hvorfor vi skal lære naturvidenskab. Men vi må ikke glemme det æstetiske aspekt af naturfagene. For det kan både stimulere den enkeltes interesse for naturvidenskab og styrke dannelsen og fællesskabsfølelsen.

»Nytten er tidens store idol, som alle evner skal trælle for og alle talenter dyrke.« Sådan skrev den tyske digter og filosof Friedrich Schiller i 1794, midt i en oplysningstid hvor æstetikken ifølge ham havde det med at blive overset.

Schillers kritik er mindst lige så aktuel i forhold til vore dages dominerende nyttetænkning. Også når det handler om naturfagsundervisning. Ganske vist kan naturvidenskab i højeste grad være nyttig, både for eleverne og for samfundet i øvrigt. Og derfor må anvendelser også være et vigtigt aspekt ved naturfagsundervisningen. Men naturvidenskab har ikke kun en nytteværdi. Den har også en egenværdi, altså en værdi i sig selv, som ikke er bundet til noget anvendelsesaspekt, og som er tæt knyttet til naturvidenskabens æstetiske sider. I den forbindelse må det først fremhæves, at æstetik ikke kun er forbeholdt kunstens verden, og i øvrigt også drejer sig om både mere og andet end overfladisk fremtoning.

Diskussioner om æstetik i videnskab har mest fokuseret på skønhed – for eksempel i form af smukke naturfænomener, elegante teoretiske forklaringer eller den harmoni og enkelhed, der ligger i, at forskellige aspekter af naturen kan samles under generelle lovmæssigheder. Men æstetik kan også relateres til ærefrygt (det sublime), det at undre sig, glæden ved indsigt, en legende tilgang til stoffet, lidenskabeligt engagement i den videnskabelige proces og sanselige møder med naturen. Oplevelser af sådanne forhold (skønhed, sublinitet, undren osv.) i naturvidenskab kan ses som æstetiske oplevelser eller erfaringer, der involverer en kombineret aktivitet af vores intellekt, sanser og følelser.



Henrik Zinkernagel er cand. scient. i fysik og har en ph.d. i videnskabsteori. Han er lektor på afdeling for filosofi ved Granada Universitet, Spanien.
zink@ugr.es

Skab mulighed for æstetiske oplevelser

Æstetiske oplevelser har gennem tiden været en vigtig motivationskilde for naturforskere. For eksempel har forundring over naturfænomenerne, og glæden ved at få indblik i de sammenhænge, der ligger bag dem, været en central drivkraft i naturvidenskabens siden dennes begyndelse i det antikke Grækenland. Men at kunne glæde sig over æstetiske oplevelser er noget alment menneskeligt. Der kan derfor sagtens være en tæt analogi mellem nysgerrigheden og den æstetiske motivation hos naturforskere og så hos dem, der, frivilligt eller ej, skal lære om naturvidenskab. Et vigtigt aspekt af denne motivation ligger i, at æstetiske oplevelser er personligt relevante, blandt andet fordi de kan åbne for at se verden, og vores plads i den, i et nyt lys.

Men hvordan kan man så skabe muligheden for æstetiske oplevelser i undervisningen? Her følger en kort liste af forslag (som jeg uddyber lidt i en artikel i fysiktidsskriftet KVANT fra december 2016): 1. Gør de naturfaglige begreber mere levende og betydningsfulde

ved at relatere dem videnskabshistorisk til de erfaringer og drømme, under hvis indflydelse begreberne oprindeligt blev udviklet. 2. Forsøg at opbygge forventning i undervisningen, for eksempel således at eleverne ikke føler sig som kokke, der følger en opskrift, men snarere som detektiver, der løser et mysterium. 3. Brug fortællinger og tag på imaginære rejser i rum og tid, for eksempel til solsystemets ydre grænser med Voyager-satellitten, eller ved at lade klassen forestille sig, hvordan det måtte have været at leve side om side med dinosaurerne. 4. Giv tid til at opleve og mærke naturfænomenerne, for eksempel farveskift i kemiske reaktioner eller skovbundens fugtighed, inden analysen og de daglige spørgsmål tager over. 5. Stimuler oplevelsen af undren, for eksempel ved at se på forekomsten af matematiske strukturer i naturen eller gennem diskussion af muligheder for liv udenfor Jorden.

I flere af disse forslag kan der desuden være en pointe i at fremhæve det, vi ikke ved, og dermed at naturvidenskab ikke er en lukket bog med en facitliste.

En glæde, der kan deles med andre

Naturfagsundervisning er selvfølgelig ikke kun et spørgsmål om æstetik. Det æstetiske aspekt er imidlertid vigtigt – ikke blot for at stimulere den enkeltes interesse for naturvidenskab, men også for dannelsen og for styrkelse af fællesskabsfølelsen. I modsætning til en god eksamenskarakter er det æstetiske noget, man kan dele, og måske endda noget, der bliver endnu bedre af at blive delt. Ikke fordi vi nødvendigvis er enige om, hvad der er smukt, sublimt eller mest forunderligt. Men fordi evnen til at opleve æstetisk glæde er noget fælles menneskeligt, og fordi denne glæde ikke bliver mindre af at dele den med andre. ■

indhold



Monumentale bygningsværker som Stonehenge rejst af vore fjerne forfædre pirrer fantasien og er omgærdet af myter. Vi kigger her nærmere på myterne, teorierne og den faktuelle viden om Stonehenge og i hvilken grad astronomisk viden har spillet med ved anlæggelsen.

8



Den rivende udvikling indenfor DNA-teknologi gør det muligt at opnå stadig mere detaljeret viden om risikoen for genetisk betingede sygdomme hos fosteret under graviditeten. Fosterdiagnostik er derfor en følsom teknologi på flere planer.

28

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 Kort Nyt
- 7 Flyvende insekter forsvinder som fluer
- 8 Stonehenge og den kulturelle astronomi
- 14 Grønlands deltaer – vokser, når klimaet bliver varmere
- 18 Magnetblanding gør stærk
- 24 Nobelprisen i kemi: Spot på livets molekyler
- 28 Fostret under lup
- 34 Mineaffald under vand – den gode historie om miljøskånsom deponering

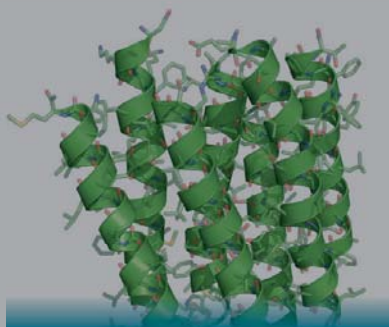
PERSPEKTIV - DEBAT

- 2 Synspunkt: Giv plads til æstetik i naturfagene
- 40 Bøger og service Boganmeldelse: Mit liv med bondelandets natur
- 44 BAGSIDEN: Græskartælleren



Materialer med forskellige magnetiske egenskaber kan i teorien skabe meget kraftige magneter, hvis de blandes optimalt. Den type magneter vil Mogens Christensen meget gerne gøre til virkelighed og derved hjælpe os ud af en problematisk afhængighed af sjældne jordartsmetaller i magneter.

18



Et elektronmikroskop er som udgangspunkt ikke velegnet til at undersøge biologiske molekyler som proteiner. Men det har årets tre nobelpristagere i kemi lavet om på.

24

AKTUEL NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

- Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Det Naturvidenskabelige Fakultet samt Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- Roskilde Universitet

Ansvarshavende

Søren Rud Keiding, prodekan, Science & Technology, Aarhus Universitet

Redaktion

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

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



AALBORG UNIVERSITY
AALBORG ESBJERG COPENHAGEN



AARHUS
UNIVERSITET



KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET



DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



DET TEKNISKE
FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-
ABONNENTER



Ikke altid den stærkeste der overlever

Den stærkeste overlever. Sådan lyder devisen fra Darwins selektionsteori – en devise, som vi ofte forbinder med dyrs eller planters evne til at overleve fremfor andre. Ideen om *Survival of the Fittest* er også fundamental indenfor planteavl, hvor hver linje af for eksempel hvede, rug eller majs er nøje udvalgt, fordi netop denne sort giver et højt udbytte og er modstandsdygtige over for diverse miljømæssige påvirkninger. Men de karakteristika og træk, der gør en plante til et konkurrencedygtigt individ – en stærk enkelt plante – er ikke nødvendigvis gavnlige for den samlede plantegruppe.

Jacob Weiner, professor i planteøkologi på Institut for Plante- og Miljøvidenskab, står bag den nye forskning inden for det forskningsområde, som hedder Evolutionær Agroøkologi eller Darwinistisk Landbrug. I sin research plantede Jacob Weiner og et forskerhold 35 forskellige sorter af hvede ud på forsøgsmarker. Både i bestande bestående af kun en sort, og blandingsbestande med alle sorter sat sammen.

Her fandt forskerne, at man ved at dyrke planter, der individuelt er mindre effektive, kan få op mod 35 pct. mere i udbytte. Jacob Weiner fortæller, at de ellers meget konkurrencedygtige hvedeplanter kun gav et middelmådigt udbytte, når de blev plantet i én gruppe af samme typer, ligesom det foregår i almindelig landbrug.



Professor Jacob Weiner Foto: PLEN

Til gengæld havde mindre konkurrencedygtige sorter et større udbytte. Jacob Weiner forklarer, at hans forskning antyder, at vi skal lægge et helt nyt perspektiv på planteavl. I stedet for at sigte efter "bedre" planter, som mange planteforskere og planteforældre gør, kan man med fordel bruge principperne for gruppeselektion i stedet for individuel selektion.

»Man kan sammenligne afgrøderne med et sportshold. Hvis hver spiller bliver belønnet

for selv at score mål, vil holdet ikke opnå lige så mange mål, som det ville have gjort, hvis spillerne samarbejdede. På samme måde kan man ikke øge udbyttet ved at udvælge de mest konkurrencedygtige individer at avle videre på,« siger Jacob Weiner.

Studiet er netop udgivet i det anerkendte amerikanske tidsskrift *Ecology*.

Nanna Birk Jensen, Inst. for Plante- og Miljøvidenskab, PLEN, Københavns Universitet

Vi bekæmper madspild i blinde

Der er stor opmærksomhed både fra forbrugere og politikere på madspild, og nye initiativer til bekæmpelse af madspild som Wefood, Stop Madspild og RedMaden pibler frem. Men ingen har et kvalificeret overblik over, hvor meget mad vi egentlig smider ud, eller om initiativerne virker. Det konkluderer lektor Gang Liu fra SDU Livscykluscenter, efter at han sammen med kollegaer fra universiteter i Europa, USA og Kina har endevendt alle tilgængelige data om madaffald i litteraturen fra 1933 til 2015 for 84 lande. Også i Danmark har vi ikke helt styr på, hvor meget mad, der egentlig havner i skraldespanden. I gennemgangen af data fra

hele verden er Gang Liu stødt på en dansk rapport fra Copenhagen Resource Institute, som viser, at eksisterende danske data om madaffald er 15-25 år gamle, mens data for madspild i de forskellige led af forsyningskæden, især hos grossister, er endnu ældre og mere sjældne.

FN estimerer, at en tredjedel af vores mad, eller omkring 1,3 milliarder ton om året, ender som skrald et sted mellem gård og bord. Og det har stor påvirkning på miljøet. Madspildet står for 8 procent af den globale udledning af CO₂ og koster det samme som Tyrkiets BNP, nemlig 750 milliarder US-dollars.

I 2015 vedtog verdens lande i FN 17 verdensmål for bæredygtig udvikling. Et af målene er, at madspild skal være halveret i 2030. I marts fulgte den danske regering op med "Handlingsplan for FN's verdensmål."

Men ifølge Gang Liu er det umuligt for de enkelte lande at sætte et mål for reduktion af madspild, når man ikke kender udgangspunktet. Forskerne anbefaler i deres rapport, at man nationalt undersøger, hvor store mængder mad der smides ud, sætter et konkret mål ud fra den viden og finder ud af, hvor i fødevareforsyningskæden, der skal sættes ind med hvilke initiativer.

Af Birgitte Dalgaard, SDU.

Forgiftninger fra drikkevandet i Pompeii

Romerne var berømte for deres avancerede vandforsyning. Men drikkevandet i rørledningerne blev måske forgiftet i et omfang, der kan have ført til daglige problemer med opkast, diarre, leverskader og nyreskader.

»Koncentrationerne var høje, og de kan have været problematiske for romerne. Drikkevandet kan have været decideret sundhedsfarligt.«

Sådan siger kemiker Kaare Lund Rasmussen, specialist i arkæo-kemi. Han har analyseret et stykke vandrør fra Pompeii, og resultatet overrasker: Rørene indeholdt 0,3 % af det giftige grundstof antimon, hvilket er meget højt.

Arkæologer har længe ment, at romernes vandrør var problematiske for folkesundheden. De var lavet af bly, som ophobes i organismen, giver skader på nervesystemet og organer og er skadeligt for børns intelligens. En sejlvetese har lydt, at romerne forgiftede sig selv via deres drikkevand.

»Tesen kan godt være rigtig, men skal måske suppleres. Blyrør kalker ret hurtigt til, så blyet ikke kan trænge over i drikkevandet. Det har



En udgravet romersk vandpost i den italienske by Acqui Terme. Man kan se det blotlagte blyrør, som måske også kan indeholde antimon. Foto: Birgitte Svennevig

altså kun været i korte perioder, at drikkevandet blev blyforgiftet – når rørene blev lagt eller repareret. Forudsat selvfølgelig, at der var kalk i vandet, hvad der normalt var,« siger Kaare Lund Rasmussen.

Han mener, at romernes drikkevand måske foruden bly blev forgiftet af antimon, som fandtes iblandet blyet. Antimon er akut toksisk – man reagerer hurtigt efter at have drukket forgiftet vand. Især tarmene irriteres, og man får opkast og diarre i et omfang, der kan give dehydrering. I slemme tilfælde går det ud over lever og nyrer.

Den nye viden om alarmerende høje antimon-koncentrationer kommer fra et stykke vandrør fra Pompeii. Kaare Lund Rasmussen understreger, at der kun er analyseret en lille stump vandrør, og at der er brug for flere undersøgelser, før man mere præcist kan sige, i hvilket omfang den romerske folkesundhed har været påvirket.

Men at Pompeiis drikkevand kan have indeholdt alarmerende koncentrationer af antimon står fast. Det har måske endda været endnu højere end i andre egne af Romerriget, fordi Pompeii lå i nærheden af vulkanen Vesuv. Antimon forekommer nemlig også naturligt i grundvand nær vulkaner.

Resultatet er offentliggjort i tidsskriftet Toxicology Letters. Birgitte Svennevig, SDU

Nyt laboratorium skal forhindre vandspild

Ifølge et realistisk skøn ender omkring 10.000 milliarder liter vand årligt i jorden på grund af rørlækager. Primært fordi det er vanskeligt at bestemme nøjagtigt, hvor lækagerne befinder sig, og fordi vandet ofte koster mindre end reparationer og udskiftning af rør. Med et nyt laboratorium på Aalborg Universitet kan forskere og studerende fremover teste løsninger på problemet ved at bygge vandinfrastrukturer op, som er fuldt fungerende miniatureudgaver af virkeligheden. De kan teste forskellige scenarier, ikke kun inden for vandforsyning, men også spildevand og fjernvarme- og køling. Algoritmerne skal stadig udvikles på computer, men næste skridt ud mod virkeligheden vil gå via det nye laboratorium, hvilket kan være med til at sikre, at forsyningsvirksomheder verden over bliver mere villige til at afprøve nye løsninger i praksis. Laboratoriet giver mulighed

for at teste specielt robusthed på forskellige kontrolløsninger til infrastruktur samt afprøve helt nye strukturer, det vil sige verificere, om idéer på papiret også virker i praksis.

Laboratoriets indmad af rør, vandhaner, pumper, ventiler og sensorer (typisk tryk-, flow og temperatursensorer), bliver skaleret ned i cirka 20:1 i forhold til virkelighedens verden. Laboratoriets dele fremstilles i blokke, som kan kobles sammen på forskellige måder, så man en dag kan emulere et forløb for eksempel i Aalborg og næste dag i Barcelona.

»Så kan vi ved hjælp af nogle algoritmer fortælle, at det er her, I skal begynde at grave og finde hullet. Det samme gælder, hvis vandet er for varmt eller trykket er for højt eller for lavt,« forklarer professor Rafal Wisniewski fra AAU's vandgruppe, som arbejder på at



Foto: Colourbox

gøre vandinfrastrukturerne til spildevand, vandforsyning, fjernvarme- og køling i stand til fortsat at leve op til forbrugernes behov – fremover på en mere miljøvenlig måde. Alt tyder på, at de forskellige netværk – vand, el, varme og så videre – i fremtiden kommer til at arbejde mere og mere sammen for at opnå så optimal en anvendelse som muligt.

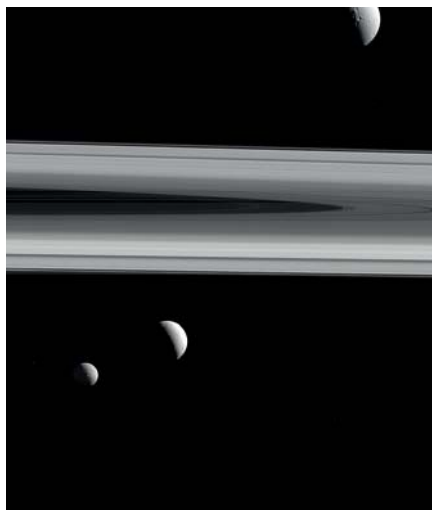
Det nye laboratorium har modtaget 5 millioner kroner fra Poul Due Jensens Fond og forventes at stå klart i slutningen af 2018.

Nelly Sander, AAU

Farvel til Cassini

En 20-årig lang rejse i Solsystemet er slut. Rumsonden *Cassini* blev den 15. september 2017 sendt i "døden" efter at have været i kredsløb omkring Saturn i 13 år. *Cassini*-sonden blev opsendt den 15. oktober 1997 med det formål at udforske den enorme planet, dens fascinerende ringe og mange måner. Rejsen til Saturn varede hele syv år og herefter var dens kredsløb om planeten oprindeligt planlagt til at vare fire år. Men den succesfulde mission blev forlænget med først to og dernæst syv år. Med sig bragte *Cassini* blandt andet landingsmodulet *Huygens*, der blev landet på Saturns største måne Titan – hvilket var den første landing på en anden måne end Jordens egen, og den første landing nogensinde i den ydre del af Solsystemet.

Cassinis udforskning af Saturn afslørede ikke mindre end 6 nye måner og kastede samtidig nyt lys over månerne Enceladus og Titan. På den -179 grader kolde Titan fandt *Huygens* søer og store have af stabil væske bestående af flydende methan og ethan, hvilket får forskere til at sammenligne Titan med en dybfrossen version af Jorden.



Et af *Cassinis* utallige billeder fra sin rejse omkring Saturn. På billedet ses foruden en del af ringsystemet månerne Tethys (øverst), Enceladus (midten) og Mimas. Foto: NASA/JPL-Caltech/Space Science Inst.

Dog var det månen Enceladus, der overraskede forskerne mest. Her fandt *Cassini* en overflade af is, der dækkede over nye hemmeligheder. Det viste sig, at Enceladus under isen har et globalt hav af flydende saltvand, og ind imellem skydes "gejsere" af vanddamp, ispartikler og simple organi-

ske molekyler op fra sprækker i isen. Det antyder, at vandet under overfladen muligvis varmes indefra ligesom på Jorden. Og det vil i givet fald øge chancerne for, at denne måne kan huse mikrobielt liv.

Udover den banebrydende udforskning af Titan og Enceladus sendte *Cassini* også gennem hele sin rumrejse 453.048 enestående billeder og over 635 GB data tilbage, som blandt andet afslørede Saturns fire sæsoner, der hver varer omkring 7 år.

Da rumsonden efterhånden var ved at løbe tør for brændstof, afgjorde forskere rumsondens skæbne, før det var for sent at ændre kurs. Det krævede nemlig mere brændstof, end der var tilbage, at sende *Cassini* ud af Saturns kredsløb. For at skåne Saturns måner Titan og Enceladus og det eventuelle liv her, blev *Cassini* den 15. september dirigeret ind i Saturns øvre atmosfære, hvor rumsonden brændte op. *Cassini* rapporterede unikke data helt til det sidste, og blot 45 sekunder efter at have sendt det sidste signal var rumskibet komplet brændt op.

Sara Helm Knudsen. Kilde: NASA.gov

Forskere simulerer biernes GPS

Har du nogensinde tænkt over, hvordan en bi finder vejen hjem til bikuben? Er det mon fordi de genkender bestemte bygninger og træer på deres vej, som mennesker intuitivt gør, eller har de en hel anden metode? Det er et stort spørgsmål, blandt andet fordi der er så stor forskel på hjernens størrelse og antallet af neuroner fra bier til eksempelvis mennesker. En gruppe forskere fra Lund Universitet har nu i samarbejde med engelske og australske forskere fundet en del af svaret.

Mange tror måske, at bier tager samme rute hjem som ud, men det er faktisk ikke tilfældet. Bier kan nemlig flyve rundt og søge efter føde i alle mulige forskellige retninger, men efterfølgende være i stand til at finde en lige vej hjem. I et laboratorieforsøg indsatte forskerne elektroder i biens navigationscenter i hjernen. Derefter sendte de bierne på en virtuel flyvetur på jagt efter føde ved at stimulere



Foto: Colourbox.

den med lysindtryk, der simulerede bevægelse fremad og tilbage samt rotation med eller mod uret. Ved efterfølgende at undersøge de involverede neuroner var forskerne i stand til at identificere to typer neuroner. Den ene

type er ansvarlig for hastighedsberegning og den anden type er ansvarlig for biens indre "kompass", der har styr på, hvor i landskabet, bierne befinder sig. De to typer neuroner arbejder sammen om at fungere som biens "GPS", der til hver en tid kan guide bierne tilbage til bikuben. Det samme fænomen er kendt i for eksempel fluer, men det er først nu, at forskere har formået at identificere netop de neuroner i hjernen, som ligger bag denne egenskab hos bierne.

Med denne viden kunne forskerne nu indbygge en model for biens indre GPS i en robot og sende den på tur. Ved hjælp af biens "navigationssystem" var robotten i stand til at finde tilbage til start uden problemer. Selv på meget komplicerede ruter kunne robotten nemt finde tilbage til udgangspunktet igen ved hjælp af modellen fra bierne.

Sara Helm Knudsen, Kilde: *Current Biology*, vol. 27, p3069–3085

Flyvende insekter forsvinder som fluer

Mange har bemærket, at deres bilforruder nu om dage yderst sjældent skal renses for insekter selv efter en lang tur gennem sommerlandet fra Skagen til Gedser. Det var helt anderledes for 30-40 år siden, hvor man flere gange undervejs på turen måtte ind på en tankstation for at fjerne de udsnappede insekter. Indtrykket af et dramatisk fald i mængden af flyvende insekter fik yderligere næring i sommer af en redaktionel kommentar i tidsskriftet *Science*, der berettede om en 80 % tilbagegang i mængden af flyvende insekter i et stort antal naturområder i Tyskland beliggende i det dyrkede landskab. Det udløste omtale og diskussion i medierne, som imidlertid døde ud, fordi de tyske tal endnu ikke var tilgængelige og tilsvarende tal for tidsudviklingen i insektmængden ikke fandtes fra Danmark eller andre europæiske lande.

Man har længe vist, at artsrigdommen af sommerfugle, vilde bier, humlebier og svirrefluer er gået dramatisk tilbage i de intensivt dyrkede områder af Europa og USA. Mange arter er endog uddøde lokalt og nationalt. Man har imidlertid manglet tal for udviklingen i den samlede insektmængde, som den tyske undersøgelse angiveligt kunne levere. Nu er den tyske undersøgelse så endelig udkommet. Resultaterne er både så omfat-



Et sjældent syn efterhånden. Foto: Colourbox.

tende, troværdige og alarmerende, at de fortjener omtale og opfølgning.

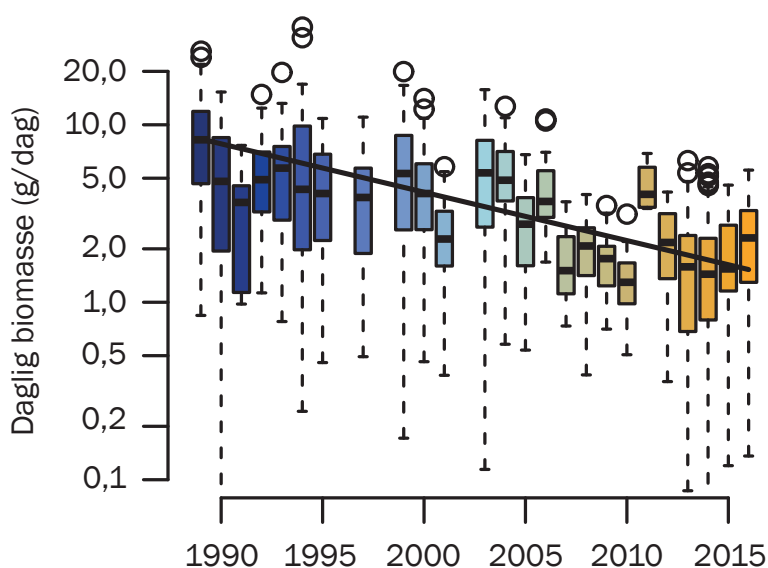
Voldsom tilbagegang

De tyske entomologer har målt vægten af insekter fanget på standardmåde i giftfælder (såkaldte Malaisefælder), som i de seneste 27 år har været opstillet i 63 naturområder, næsten alle beliggende tæt på dyrkede marker. Resultaterne viser en gennemsnitlig tilbagegang i insektmængden over de 27 år på 76 % for hele vækstsæsonen og på 82 % for højsommeren. Tilbagegangen er sket i alle naturområderne uanset typen. Og da tilbagegangen er sket inde i selve naturområderne, kan man

antage, at den har været endnu større ude på markerne.

Hvad er så forklaringen på den voldsomme tilbagegang? Ændringer i klima, arealanvendelse og naturtypen har forandret sig meget lidt over perioden og kan ifølge undersøgelsen ikke forklare tilbagegangen. Forfatterne foreslår, at det stadig mere intensive landbrug kan være forklaringen på tilbagegangen, og de fremhæver øget anvendelse af pesticider, øget gødskning og fjernelse af udyrkede bræmmer og hegn som de sandsynligste årsager. Nye amerikanske undersøgelser har netop dokumenteret store bestandsnedgange for monarck-sommerfuglen på grund af pesticider, og danske studier viser tilsvarende stor og hyppig dødelighed af smådyr i vandløbene ved udledning af pesticider.

Da 80 % af planterne bestøves af insekter, og 60 % af fuglene lever af insekter, er der virkelig behov for øget fokus og politisk opfølgning på den biologiske nedtur, som tyskerne dokumenterer, da den kan forventes at føre til yderligere forarmning af plantelivet og fuglelivet. Voldsom tilbagegang af planterne og fuglene i det intensivt dyrkede åbne land er allerede veldokumenteret fra mange europæiske lande. Selv om det er bekvemt at slippe for at rense bilruderne, så kan det altså være et tegn på sterilisering af hele landskabet.



Tilbagegang i insektbiomassen om sommeren i fælderne (gram fanget per dag) samlet for alle lokaliteter og fangster hvert år over hele tidsperioden. Tendenslinjen viser den gennemsnitlige udvikling med et fald på 82 % over perioden. Insektfangster varierer meget; de farvede bokse rummer 50 % af fangsterne, der ligger over de 25 % laveste og 25 % højeste værdier. (Efter Hallmann et al, 2017)

Kaj Sand-Jensen, Københavns Universitet.
ksandjensen@bio.ku.dk. Kilde: Hallmann, C.
A. et al. 2017. *PLoS One*. 12(10):e0185809.
<http://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>

STONEHENGE

og den kulturelle astronomi



Monumentale bygningsværker som Stonehenge rejst af vore fjerne forfædre pirrer fantasien og er omgærdet af myter. Vi kigger her nærmere på myterne, teorierne og den faktuelle viden om Stonehenge og i hvilken grad astronomisk viden har spillet med ved anlæggelsen.

Foto: Colourbox



Claus Clausen er uddannet i fysik og astronomi på Niels Bohr Institutet. Han tog sin ph.d.-grad i kulturel astronomi ved Niels Bohr instituttet i 2016. Hans ph.d.-afhandling "The megalithic lunar season pointer" handler om astronomiske fortolkninger af gravhøjes placering og orientering i landskabet. clausjoergenclausen@gmail.com

I februar 2017 udkom i Europa bogen *The Memory Code* af den australske filosof Lynne Kelly. I bogen fremsætter hun den hypotese, at Stonehenge og andre berømte konstruktioner rejst af mennesker i fortiden er steder for huske-koder og huske-rum, og at der ligger en rationel tankegang bag. Vi behøver derfor ikke hypoteser om flyvende tallerkener, mystiske ritualer og magiske kræfter til at forklare, hvorfor sådanne imponerende bygningsværker er blevet rejst.

Jeg synes, at Kellys tanker er interessante, fordi de ligger meget

tæt på de tanker, som jeg selv har arbejdet med inden for det gryende videnskabelige felt kaldet "kulturel astronomi". Et felt, hvor man prøver at opnå en viden om tidligere kulturer, blandt andet ved at undersøge om astronomisk viden har været anvendt ved anlæggelse og konstruktion af bygningsværker.

Udfordringen inden for dette meget tværfaglige felt er, at man i sagens natur aldrig kan få vished om, hvad fortidens mennesker har tænkt og følt – hvilke rationaler eller forestillinger, der har været deres drivkraft. Der vil derfor altid være et stort spillerum for fortolkninger, som let

kan blive præget af vores kulturelle fordomme i nutiden.

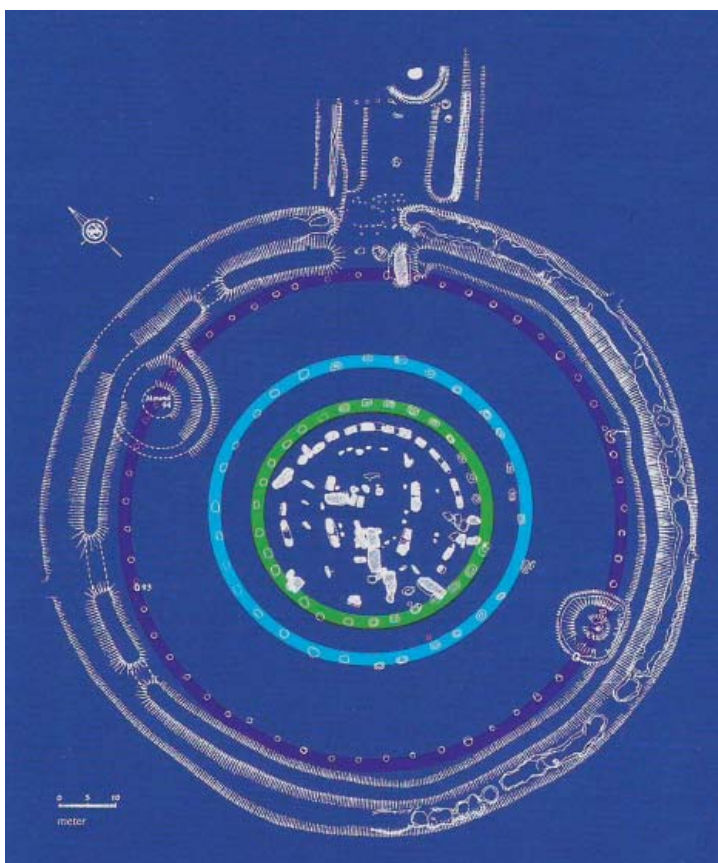
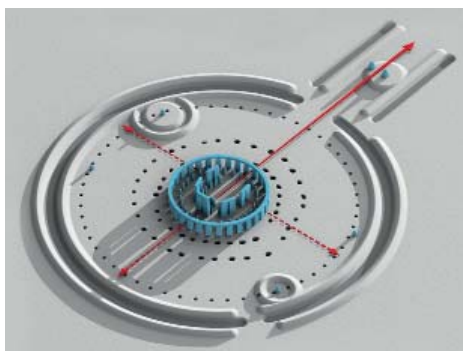
I denne artikel vil jeg se på, hvad der findes af viden, myter, hypoteser og teorier om Stonehenge og dermed give et indtryk af det spændingsfelt, vi med interesse i kulturel astronomi bevæger os i.

Fakta om Stonehenge

Stonehenge ligger i det sydlige England på Salisburysletten nær floden Avon. Anlægget blev bygget i mindst tre måske fem faser. Første fase blev påbegyndt for godt 5000 år siden, det vil sige i slutningen af yngre stenalder, mens sidste fase

Den officielle grundplan af Stonehenge. Den yderste ring (Aubrey-cirklen) med 56 huller er markeret med violet. De to andre cirkler med henholdsvis 29 og 30 huller er markeret med grøn og blå. Astronomen Gerald Hawkins mente, at netop antallet af huller indgik i et bemærkelsesværdigt "oldtidsregnestykke", som er grundlag for at kunne forudsige måneformørkelser og måske også solformørkelser. Desværre kan man ikke se de 19 sten i den inderste hestesko, da der mangler nogle af dem. Figuren er fra "Astronomi med sten og stænger", Aktuell Astronomi sommer 1997, s. 33.

Computerillustration af det intakte anlæg med åbningen mod nordøst. Kilde: Wikimedia Commons



blev påbegyndt for omkring 4000 år siden i bronzealderens begyndelse. Der er konstateret omkring 300 gravlæggelser. Der er også spor af aktivitet, der går næsten 8000 år tilbage i tiden.

Selvom der har været flere folkeslag/stammer ind over konstruktionen, ser det ud som om, at det er samme tradition, der er fulgt, og at anlægget har været i brug i omkring 1500 år.

Selve anlægget består af en række koncentriske cirkler og en stenbygget hesteskoformation i centrum, der omslutter en mindre hestesko bestående af 19 sten. Åbningen vender mod nordøst. Den inderste cirkel (Sarsen-cirklen) og den yderste af hesteskoformationerne er bygget af sten på op til 50 tons, der ved overliggerne på de stående sten er føjet sammen med tappe for at stabilisere konstruktionen. Nogle af de sten, der er brugt, er transporteret over stor afstand, bestemt ud fra den type sten, der er brugt. De ydre cirkler er markeret med hen-

holdsvis 29, 30 og 56 huller. Den omgivende vold er ca. 115 meter i diameter og blev bygget i første fase. I cirklen med de 56 huller er fundet brændte knogler i bunden af hullerne. Der har tydeligvis været flere formål med anlægget i forbindelse med ritualer og begravelser. Der er en række indgravninger af våben i nogle af de sten, der indgår i konstruktionen, blandt andet er der en afbildning af en dolk, som kendes fra middelhavsområdet.

Stonehenge er en del af et større kompleks af monumenter i det omgivende landskab.

Myterne

Den tidligste myte om Stonehenge kunne stamme fra den romerske historiker Diodorus fra Sicilien. Han skriver, for godt 2000 år siden, i sin *Historie om den Fortidige Verden* om England:

»Månen set fra denne ø synes at være i lille afstand fra Jorden og afslører en hævnning i landskabet, som er magen til dem på Jorden,

synlig for the blotte øje. Det fortælles, at selve Guden besøger Øen hvert 19. år, som er inden for den periode, hvor Stjernerne gennemfører en komplet cyklus og vender tilbage til deres oprindelige position. Der er også et storslået område i landskabet helliget Apollon og et mærkeligt tempel«

Det er muligt, at omtalte tempel er Stonehenge. Den engelske historieskriver Gottfrid fra Monmouth skriver i 1100 tallet i sin *Historia Regum Britanniae* om Merlin (kendt fra legenden om kong Arthur), at han brugte magi til at flytte nogle af de store sten fra Irland til Stonehenge. Merlin fortæller i legenden, at stenene har en helbredende kraft.

Hypoteser og teorier

I 1700-tallet påpeger den engelske antikvar William Stukeley, at hesteskoformationen i Stonehenge har åbning og symmetriakse i retning mod midsommersolens opgangspunkt. Senere, i begyndelsen af 1900-tallet, viser astronomen Norman Lockyer (grundlægger af

Hypoteser og teorier

Statistisk set er en hypotese en formodning, der er baseret på en række iagttagelser. Hvis man for eksempel har observeret 10 stenkonstruktioner af samme type, der har symmetriakse i samme retning, kan hypotesen være, at det er meningen, at stenkonstruktioner af denne type skal pege i samme retning. Et datasæt med 10 målinger kaldes statistisk set et lille datasæt og er det mindste antal data, man kan have for at kunne opstille en hypotese. En hypotese kan blive til en teori, hvis den bliver bedre underbygget. For at blive i eksemplet skal man observere mindst 50 stenkonstruktioner af samme type, der har symmetriakse i samme retning, før den nævnte hypotese kan kaldes en teori. Og når man har så mange ensartede observationer er det rimeligt at bruge teorien til at forudsige, at alle stenkonstruktioner af samme type

peger i samme retning. Virker teorien i alle tilfælde, bliver det til et faktum.

Det er selvfølgelig tilladt at komme med en hypotese om en konstruktion, selvom man kun kender til et enkeltstående tilfælde. Finder man ikke tilsvarende anlæg andre steder forbliver hypotesen en hypotese. Så en hypotese kan anskues ud fra en statistisk synsvinkel eller blot være en hypotese baseret på ens helt personlige formodninger og antagelser. Lynne Kellys hypotese er af sidstnævnte slags. Man kan i princippet også opstille en teori, uden den er statistisk underbygget. Det kan man, hvis der er flere detaljer ved en konstruktion, der peger i samme retning. Det er tilfældet med Fred Hoyles teori om Stonehenge, som ikke har kunnet underbygges efterfølgende.

Analog computer

En analog computer er en regnemaskine, der er bygget til at løse en enkelt eller ganske få opgaver. Et mekanisk ur er et eksempel på en analog computer, der er bygget til at vise tiden. Det kan også være en mekanisk kalender, der viser dato og årstal. En meget kompliceret analogcomputer er Antikythera-mekanismen fra ca. 200 f.Kr., der er en astronomi-computer, som kan forudberegne planeternes positioner på himlen, sol- og måneformørkelser og datoer for forskellige højtider.

→ Rester af mekanismen blev fundet af dykkere for godt 100 år siden ud for den græske ø Antikythera, og hele mekanismen er nu blevet genskabt.

Foto: Wikimedia Commons/CC BY 2.5



Stonehenge som regnemaskine

Hawkins hypotese om Stonehenge som regnemaskine gengives her i korte træk. I regnestykket indgår de tre cirkler med henholdsvis 29, 30 og 56 Huller. De to cirkler med 29 og 30 huller kan bruges til at holde rede på månens faser. Hvis man ved fuldmåne anbringer en sten i et hul i cirklen med 29 huller, flytter man stenen dagligt, indtil man når første hul igen. Herefter skifter man så til den anden cirkel med 30 huller. Når man så kommer til første hul igen, skiftes til første cirkel og så videre. En fasemåned (gennemløb af månens fire faser: fuld, aftagende, ny, tiltagende) er i gennemsnit $29,5 \text{ døgn} = (29 + 30)/2$. Månens faser kan på den måde følges uafhængigt af vejret.

Ved en måneformørkelse skal det være fuldmåne og en solformørkelse nymåne. De 19 sten kan tolkes som månens formørkelsescyklus. Den rigtige månecyklus er 18,61 år. Her bruger vi så cirklen med de 56 huller. Hvis vi forestiller os, at fuldmånen står op over hul nr. xx, og solen går ned diametralt modsat, vil der meget sand-

synligt komme en måneformørkelse om natten. 19 år senere vil det så gentage sig. I virkeligheden vil det gentage sig med 18 eller 19 års mellemrum. Det gælder for alle retninger inden for fuldmånens opgangsområde i horisonten. Antallet 56 kan sammensættes som $19 + 18 + 19$, $56/3 = 18,67$, som er meget tæt på 18,61. De 18,67 år kaldes Stonehenge-cyklen og kan "beregne" måneformørkelser i en periode på 276 år. Metoden er, at man så flytter en sten rundt i cirklen fra hul til hul en gang om året. Når stenen så når hul nr. 18 eller 19 regnet fra starthullet, vil der dette år indtræffe en måneformørkelse, når fuldmånen igen står op over starthullet.

I princippet ville man kunne følge flere måneformørkelses-cykler på en gang. Regnemaskinen kan inden for de 276 år forudsige 80 % af alle synlige måneformørkelser og skal herefter justeres, da den ellers vil ramme et år forkert. I øvrigt er den hypotetiske brug af cirklerne et udmærket eksempel på, hvordan man i fortiden kunne tænkes at bruge decimaltal (kommatal).

Mange af stenene i de kilometer lange rækker i Carnac i Frankrig er på overfladen bearbejdet af mennesker. Nogle af stenene har ret præcise geometriske former, som den forreste sten på billedet og nogle af de andre i baggrunden. Hvad det skal betyde vides ikke, men det vidner om interesse for disse former. Stenene menes rejst for omkring 6000 år til 7000 år siden.



tidsskriftet *Nature*), at der kan være flere astronomiske sigtelinjer i Stonehenge. Lokyer påviser Stukeleys hypotese om retningen mod mid-sommersolens opgangspunkt.

Noget senere, i 1960'erne, skriver astronomen Gerald Hawkins en artikel i *Nature* under titlen *Stonehenge decoded*, hvor han argumenterer for, at Stonehenge er en slags analog computer, der kan beregne både måne- og solformørkelser. Måneformørkelser er en mulighed, da tallet 19 kan referere til månens formørkelsescyklus. Hawkins viser, at der muligvis er sigtelinjer i Stonehenge, der er rettet mod både solen og månens yderste opgangspunkter i horisonten. Disse punkter kaldes ekstrepunkter.

Nogenlunde samtidig skriver den engelske astrofysiker Fred Hoyle, at han mener, at Stonehenge er en model af ekliptika, altså planeternes baneplan omkring solen, og at de to punkter, hvor månens bane krydser ekliptika, kan følges i deres bevægelse. Det skæringspunkt, der ikke giver anledning til en måneformørkelse, kunne så være inspirationen til en skjult styrende kraft, en gud, og inspirationen til monoteismen, altså enhedsguden. Denne teori er Hoyle blevet stærkt kritiseret for af religionshistorikere.

Lige nu er den gængse opfattelse, at Stonehenge var en begravelsesplads og et sted, der tiltrak syge mennesker, som håbede på helbredelse af de healere, der også var

tiltrukket af området. Denne teori blev fremsat i 2008 af to Stonehenge-eksperter Timothy Darvill og Geoff Wainwright.

Lynne Kellys hypotese om brug af huskekoder

I sin nye bog argumenterer Lynne Kelly som nævnt for, at Stonehenge kan være en "huske-kode". Huske-koderne og huske-rummene er koder og rum, der indeholder viden om naturen: navne på planter og dyr (for eksempel fremstillet som menneskelignende figurer), viden om ritualer og også viden om astronomi. Udfordringen er så at kunne forstå disse koder. Det er ikke sikkert, at vi i dag er i stand til at forstå huske-koderne, som Lynne Kelly skriver om i sin bog.

Som eksempel beskriver Kelly, hvordan antikkens grækere brugte forskellige husketeknikker, som for eksempel at huske placeringen af forskellige bygninger i landskabet, så man på den måde kunne finde rundt. Bygningerne var så huske-koden, som så også kunne bruges til en imaginær rejse i landskabet. Hvis vi skal forstå bygningernes placering i landskabet er de netop bygget der, hvor de kan bruges som markører i landskabet. Placeringen er altså bestemt ud fra en rationel tankegang, og bygningen har så to formål: Som landskabsmarkør og en konstruktion, man kan opholde sig i.

Betydningen af Lynne Kellys hypotese er, at vi skal nytænke i forhold

til fortolkning af tidligere tiders konstruktioner. Det er en fejl kun at fokusere på astronomiske tolkninger og ligeledes en fejl kun at fokusere på arkæologiske tolkninger. Det ene udelukker ikke det andet. Vi skal også forstå, at der kan være flere lag i tolkningerne. Altså at en huske-kode kan have flere betydninger. Det kan vi måske lære af i dag?

Stonehenge og måneformørkelserne

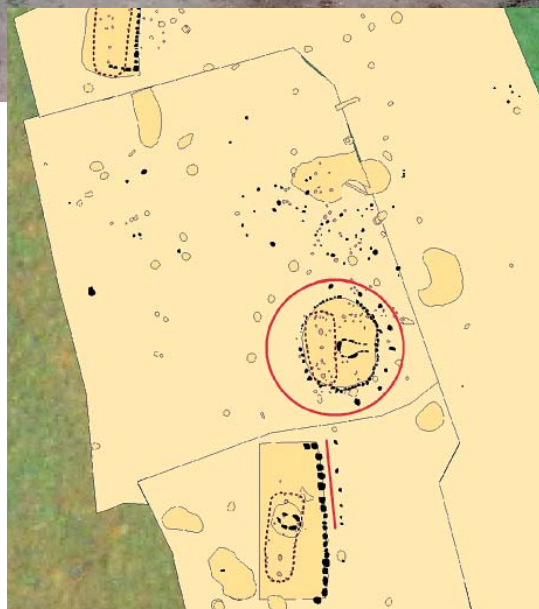
Som nævnt optræder tallet 19 i forbindelse med Stonehenge, både som antal sten i den inderste hestesko, i en myte og i månens formørkelsescyklus. En tolkning kan derfor være, at det er meningen, at de 19 sten er huskekoden for netop formørkelsescyklussen. En måneformørkelse er altid synlig, hvis månen er over horisonten, og den kan vare op til 4 timer. Før en måneformørkelse kan man opleve, at sommerfuldmånen går ned modsat, næsten samtidig med at solen står op. Senere den efterfølgende nat kan der så komme en måneformørkelse. Det kan også ske omvendt, at vinterfuldmånen står op modsat solnedgangen. Hvis åbningen af hesteskoen og symmetriaksen skal tages i betragtning, drejer det sig om måneformørkelser omkring midsommer eller midvinter. Om det er blevet brugt rituelt er uvist. Men man kan let forestille sig, at den formørkede måne kunne symbolisere noget af betydning – for eksempel indgangen til dødsriget. I Danmark har vi i gennemsnit 8 synlige månefor-



Den viste udgravning på fotoet er Damsbo, lidt syd for Sarup på Fyn. På plantegningen t.h. vises den del af stencirklen som også ses på fotoet (her markeret med den røde cirkel).

Stencirklen omslutter resterne af en jættestue. Der er otte tilbageværende sten i stensætningen, hver adskilt med en vinkel på ca. 22,5 grader. Mellemrummene mellem stenene er relativt ens, bortset fra én vinkel omkring 27 grader. Den sydvendte konvergente stenrække (seks sten), markeret med den røde linje, kunne repræsentere en projektion af en 90-graders cirkelsektor opdelt i vinkler af 18 grader. Formålet er ukendt, men kan have en astronomisk forklaring. Både solens og månens opgangspunkter mod syd følger netop et mønster som den konvergente stenrække. De to andre strukturer i toppen og i bunden er langdysser.

Illustration: Niels Andersen, Moesgaard Museum.



Videre læsning

Claus Clausen, *Astro-nomi med sten og stænger*, *Aktuel Astronomi* sommer 1997.

Claus Clausen, *Neolithic Cosmology? Andoranten* 2014, (Clausen, 2015)

Lynne Kelly, *The Memory Code*, Pegasus Books Ltd, 148 West 37th Street, 13th Floor, New York, NY 10018, February 2017

Peter Nilson, *Kring några undersøgninger av Stonehenge och andre fronlämningar på de Brittiske öerne*, *Astronomisk Tidskrift*, nr. 1, (1969)

mørkelser på 10 år, hvilket betyder at vore fjerne forfædre ikke kunne undgå at se en måneformørkelse en gang imellem.

En anke i forhold til Hawkins' ide omkring anvendelsen af Stonehenge til at forudsige sol- og måneformørkelser er, at nogle af de sigtelinjer, der tænkes anvendt, ikke har eksisteret i virkeligheden, da de nødvendige fikspunkter ikke var anlagt på samme tid. Det hævder arkæologer.

Men ved en nærmere undersøgelse viser det sig, at de sigtelinjer, Hawkins mener, der er i Stonehenge, ikke er nødvendige for at kunne

forudsige måneformørkelser. Så selvom Hawkins er blevet kritiseret for sin hypotese om Stonehenge, mener jeg, at han er inde på det rette spor i forhold til Lynne Kellys og mine egne tanker.

Simple forklaringer er ofte de bedste

Min konklusion er derfor, at der er huske-koder i Stonehenge. Spørgsmålet er bare, om vi kan forstå dem. Personligt tror jeg, at nogle af disse huske-koder har noget med månen at gøre. Men det er svært at bekræfte, når vi kun har en enkelt Stonehenge-konstruktion at tolke ud fra. Havde vi haft flere Stonehenge-lignende konstruktioner, kunne

vi se, om der var et bestemt mønster, der gentog sig.

Huske-koder findes i øvrigt mange steder, for eksempel i Carnac i Frankrig. Vi har også huskekoder i Danmark, eksempelvis Damsbo på Fyn, der består af stenrækker der er udformet på en bestemt måde. Vi skal så prøve at forstå, hvad de betyder, hvis vi går efter en forklaring. Forklaringen kan være astronomisk eller være information om geometri. Et problem er dog, at jo mere indviklet en forklaring, vi kommer med, desto større chance er der for, at den er forkert. Forklaringen er ofte meget enkel og ligetil, hvis vi er i stand til at indse det. ■

AARHUS UNIVERSITET INVITERER TIL GYMNASIELÆRERDAGE 2017/18

FAGLIGE DAGE MED INSPIRATION TIL UNDERVISNINGEN
OG NYT FRA FORSKNINGENS VERDEN

AU FOULUM (Biologi, bioteknologi og kemi): *Torsdag d. 14. september 2017*

IDE- OG TEKNOLOGIHISTORIEDAG: *Torsdag d. 26. oktober 2017*

TEKNIK- OG TEKNOLOGIDAG: *Onsdag d. 8. november 2017*

ASTRONOMIDAG: *Fredag d. 12. januar 2018*

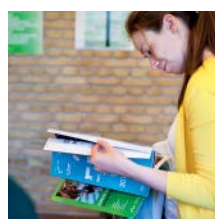
KEMILÆRERDAG: *Torsdag d. 25. januar 2018*

FYSIKLÆRERDAG: *Fredag d. 26. januar 2018*

BIOLOGILÆRERDAG: *Fredag d. 19. januar 2018*

NATURGEOGRAFI- OG GEOVIDENSKABDAG: *Forår 2018 - dato følger*

MATEMATIKLÆRERDAG: *Mandag d. 11. juni 2018*

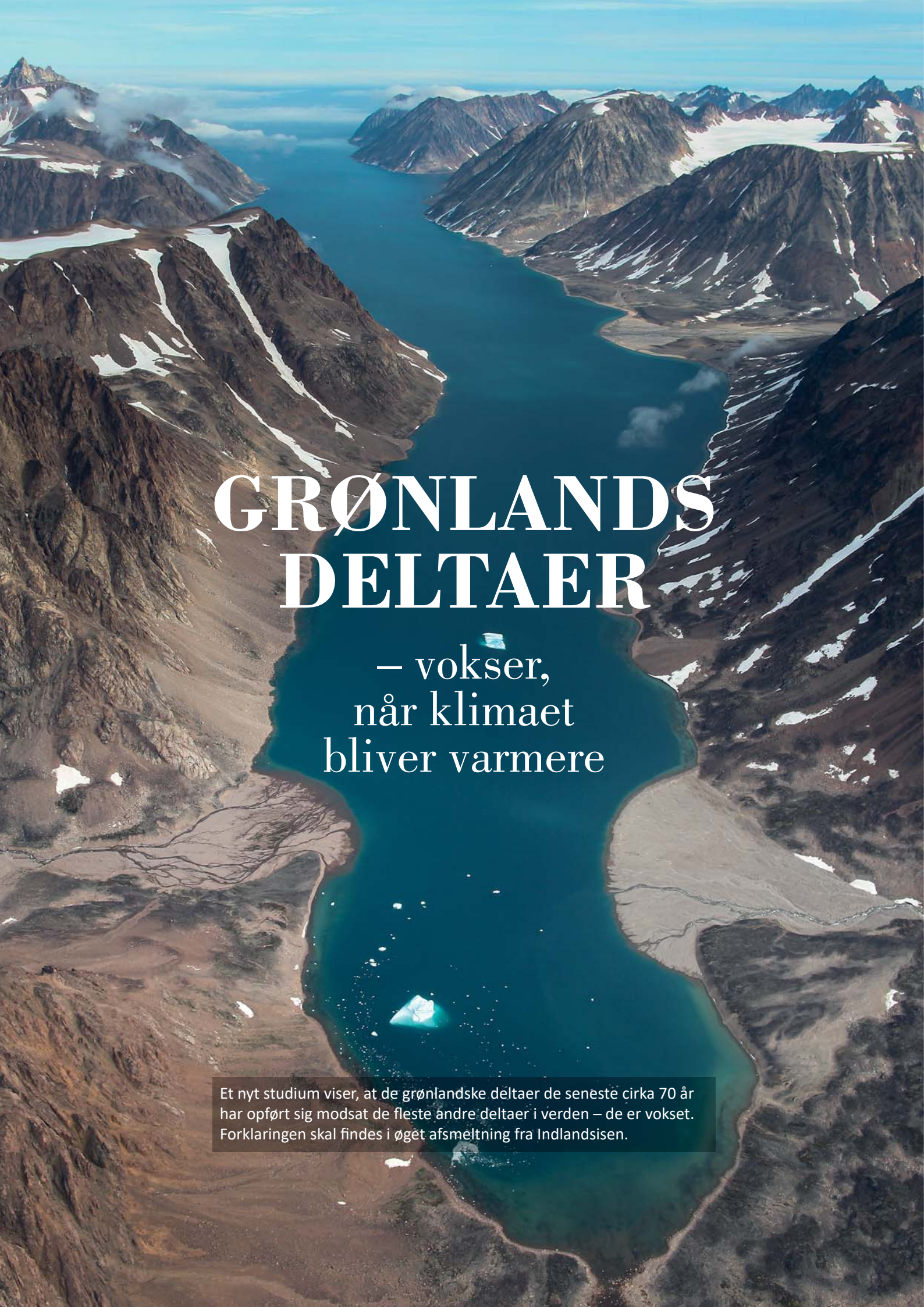


En række institutter ved Aarhus Universitet byder også i skoleåret 2017/18 velkommen til gymnasielærer dage! Til gymnasielærerdagene kan du bl.a.:

- komme i dybden med dit fag
- høre nyt fra forskningen
- få ny inspiration til din undervisning
- netværke med dine fagkolleger fra andre gymnasier

Det er gratis at deltage i gymnasielærerdagene. Tilmelding er nødvendig.

LÆS MERE PÅ **SCITECH.AU.DK/GYMNASIELAERERDAG**



GRØNLANDS DELTAER

– vokser,
når klimaet
bliver varmere

Et nyt studium viser, at de grønlandske deltaer de seneste cirka 70 år har opført sig modsat de fleste andre deltaer i verden – de er vokset. Forklaringen skal findes i øget afsmeltning fra Indlandsisen.

Deltaer er områder, hvor ferskvandet møder havet, og materiale aflejres. Disse sedimentære aflejringer er samtidig vigtige økosystemer, hvor mennesker i århundreder har dyrket landbrug og fiskeri. På verdensplan er mange deltaer ved at drukne som følge af øget menneskelig påvirkning og havspejlsstigninger. Samtidig oplever store dele af de arktiske kyster øget erosion som følge af permafrostens optøen og øget bølgeaktivitet, efterhånden som havisen forsvinder.

Det har nu vist sig, at Grønlands kyster opfører sig markant anderledes end verdens deltaer og kysterne i resten af Arktis. Det er konklusionen af et studium, som vi har udført sammen med andre forskere fra Danmark, USA og Grønland i forbindelse med vores ph.d.-studium ved henholdsvis Center for Permafrost ved Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning og Ferskvandsbiologisk Laboratorium på Københavns universitet.

Flybilleder fra 2. verdenskrig

Under Anden Verdenskrig ville tyskerne etablere meteorologiske vejrstationer rundt om i Nordøstgrønland. Tyskland var afhængig af pålidelige vejrudsigter af hensyn til ubåds-missioner og de kampe, som udspillede sig over Nordatlanten og Europa. Det amerikanske militær ønskede at sabotere tyskernes vejrstationer og udførte derfor intensive flyvninger for at identificere mulige stationer. De mange filmruller med tusindvis af fotos blev siden overdraget til Kort- og Matrikelstyrelsen (nu Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering) og befinder sig nu i en kælder i Københavns Nordvestkvarter.

Disse arkiver virker nu som værdifulde referencer for det grønlandske landskab i et historisk perspektiv. Ved at sammenligne disse gamle billeder med nyere moderne satellitbilleder har det været muligt at vise, hvordan deltaerne ændrer størrelse, når klimaet bliver varmere. Resultaterne viser, at deltaerne er stabile i perioden fra

1940'erne til 1980'erne, men at de bliver signifikant større i perioden fra 1980'erne og frem til i dag. Denne analyse bygger på deltaer, der ikke er påvirket af daglige tidevandsvariationer og derved har det været muligt at påvise, at deltaerne ændrer sig i takt med den globale opvarmning.

Øget afsmeltning driver deltaernes ændring

Vi var overraskede over at se så store ændringer i deltaernes størrelse, der vokser og breder sig med overraskende hurtig fart. Nogle steder er der tale om udbygninger på op til flere kilometer, hvor sand, sten og grus ikke oversvømmes længere, men i stedet er blevet til nyt land. Ændringer i kystens udformning kan ske både som følge af ændringer i inputtet fra land og fra dynamikken i havet. I studiet har vi samarbejdet med kolleger fra andre ekspertområder for at forstå, hvilke processer der er ansvarlige for de markante ændringer. Samlet har vi undersøgt,

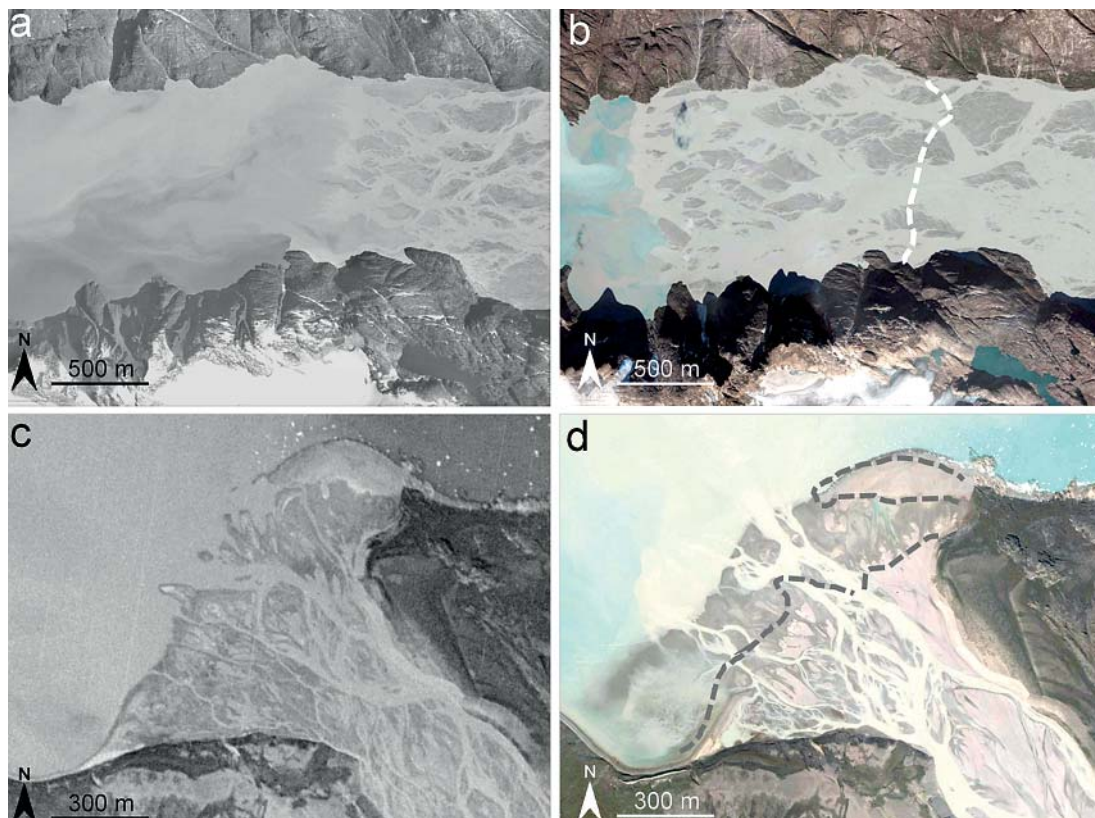


Om forfatterne

Mette Bendixen er naturgeograf og har en baggrund inden for geomorfologi og kystforskning. mette.bendixen@ign.ku.dk

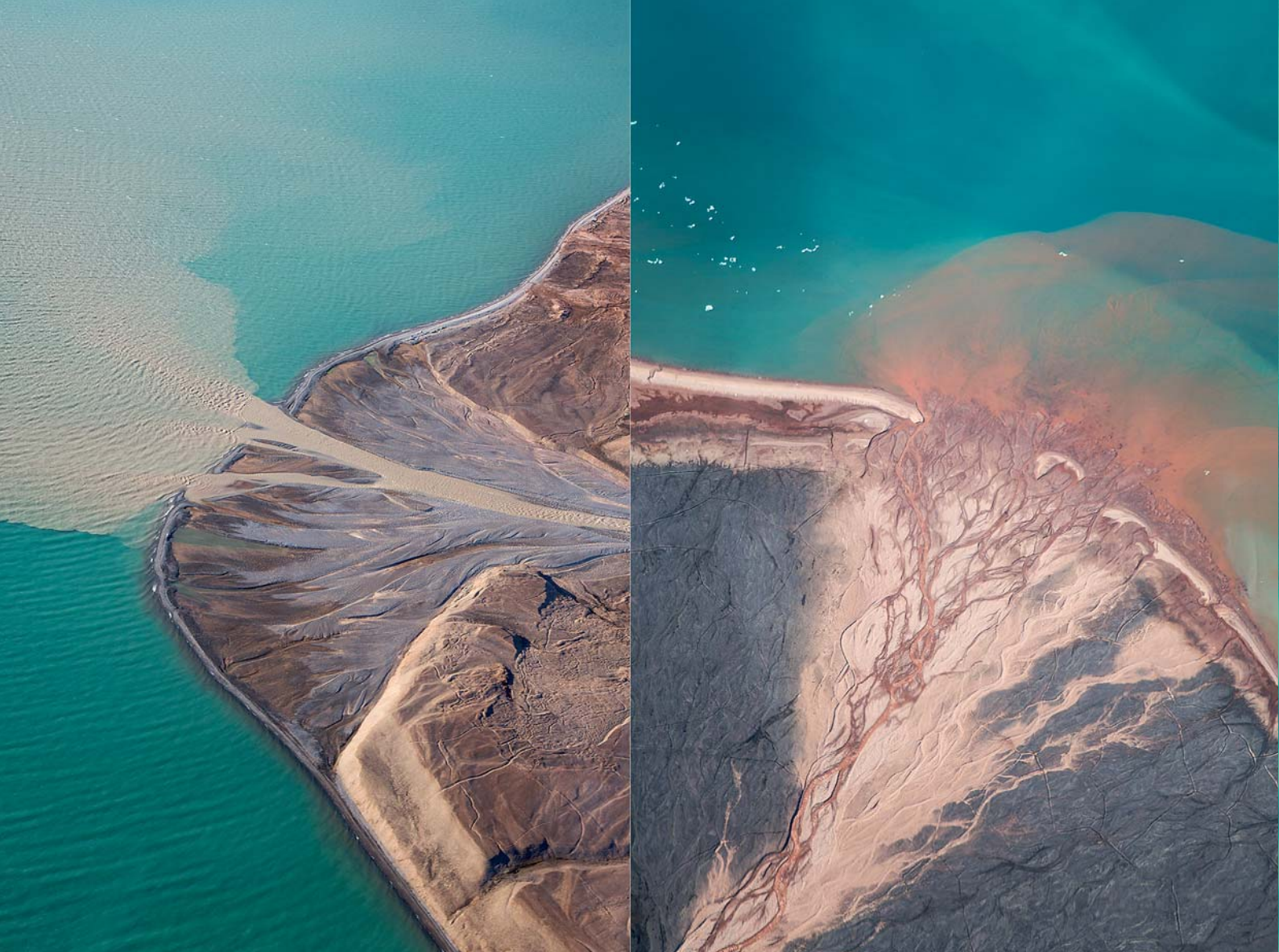
Lars Lønsmann Iversen er biolog og beskæftiger sig med ferskvandsøkologi og modellering af landskabsprocesser. lliversen@bio.ku.dk

Begge er nu postdoc ved Grundforskningscenter CENPERM; Center for Permafrost, Københavns Universitet.



Eksempler på deltaudbygninger. A) viser et delta i 1985 og B) samme delta 30 år senere. Udbygningen her er på ca. 1,5 km. C) et delta i 1985 og D) samme delta 30 år senere. Fotos: A+C: Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering samt B+D: Google Earth.

Stort foto: Flere deltaer ses her langs kysten i en snæver fjord i Grønland. Foto: Anders Anker Bjørk



To deltaer, hvor de store sedimentfaner tydeligt ses. Fotos: Nicolaj_Krog_Larsen

Videre læsning:

Resultaterne omtalt i artiklen er publiceret i *Nature*: Nature 550, 101–104, doi:10.1038/nature23873



Flybilleder taget under Anden Verdenskrig af det amerikanske militær. Billederne er sidenhen blevet overgivet til Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (tidligere Kort- og Matrikelstyrelsen) og bliver nu brugt i forskning.

hvordan land og hav har ændret sig i forhold til hinanden, hvilke bjergarter der har været udgangsmateriale for sedimenterne, ændringer i havisudbredelsen og temperaturvariationer. Samtidig er der taget højde for de enkelte deltaers lokalitet, og graden hvormed de er eksponeret for bølgeaktivitet.

Ved hjælp af modeller har vi været i stand til at vise, at det er den øgede afsmeltning fra Indlandsisen, som er hovedansvarlig for deltaernes forvandling. Store floder af smeltevand fra isen transporterer sand og grus til deltaerne, hvor det aflejres og bidrager til den store udbygning, der er sket. På denne måde er nyt land dannet eller eksisterende deltaer bygget ud. End ikke den potentielt øgede bølgeerosion forårsaget af en forlænget periode med isfrit hav, kan modvirke inddæmning af materiale fra land.

Infrastruktur kan blive påvirket

I Grønland lever folk nær kysten og havet er helt essentielt for transport og fiskeri. De voksende deltaer påvirker infrastrukturen i Grønland, da aflejringen af sedimenter har store konsekvenser for både grønlandsk fiskeri og potentielt også turismen. Når de kystnære områder sander til som følge af øget input af sand og grus, får det konsekvenser for skibsfarten. Dette giver store udfordringer for havne. I området omkring Kangerlussuaq er man i øjeblikket i færd med at anlægge en ny havn længere ud mod havet, fordi den eksisterende er sanded til. Når man i fremtiden skal anlægge nye havne eller lignende infrastruktur, kræver det en grundig planlægning, hvor disse nye resultater vil indgå i processen. Således er deltaændringerne med til at forandre kystområderne i Grønland, hvilket der skal tages højde for på en lang række områder. ■

HJÆLP TIL DIT STUDIERETNINGS- PROJEKT?

DU KAN FÅ HJÆLP TIL EMNER SOM:

- SUPERLEDNING
- KVANTEMEKANISKE TUNNELEFFEKTER
- UV-LITOGRAFI
- BESTEMMELSE AF PLANCKS KONSTANT

Få sparring af dygtige
forskere og lav forsøg til dit
studieretningsprojekt i de
veludstyrede laboratorier på
Aalborg Universitet.

nano.aau.dk/srp



AALBORG UNIVERSITET
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN

Central opstilling fra
Poul Scherrer Institutet
i Schweiz.
Foto: Mogens Christensen



MAGNETBLANDING GØR STÆRK

Om forfatterne

Mogens Christensen er
lektor ved Institut for Kemi og
iNANO, Aarhus Universitet.
mch@chem.au.dk

Carsten R. Kjaer

Aktuel Naturvidenskab
crk@aktuelnaturvidenskab.dk



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Artiklen er sponsoreret
af Danmarks Frie
Forskningsfond | Natur
og Univers.

Danmarks Frie Forsknings-
fond dækker alle viden-
skabelige hovedområder
og uddeler hvert år godt 1
mia. kr. til forskningspro-
jekter baseret på forsker-
nes egne ideer. Danmarks
Frie Forskningsfond består
af 84 anerkendte forskere
udpeget på baggrund
af deres høje faglige
kompetence. Formand for
Danmarks Frie Forsknings-
fond | Natur og Univers
er professor ved Aarhus
Universitet, Lars Arge.
Læs mere på
www.dff.dk

Materialer med forskellige magnetiske egenskaber kan i teorien skabe meget kraftige magneter, hvis de blandes optimalt. Den type magneter vil Mogens Christensen meget gerne gøre til virkelighed og derved hjælpe os ud af en problematisk afhængighed af sjældne jordartsmetaller i magneter.

At magnetiske materialer findes i hårde og bløde udgaver, lyder måske ikke mærkeligt i en lægmands ører. Når man i fagkredse snakker om hårde og bløde magnetiske materialer, er det imidlertid ikke materialets hårdhed i fysisk forstand, man henviser til. Det er derimod, om materialet forbliver permanent magnetisk, eller om det kun forbigående er magnetisk, efter at det er blevet udsat for et eksternt magnetfelt. Den skelnen er vigtig, når det er permanente magnetiske

materialer, man er interesseret i. Permanente magneter indgår således i utallige dagligdagsprodukter som mobiltelefoner, højttalere, pumper og harddiske ligesom magneter er essentielle i konverteringen mellem elektricitet og bevægelse. I "hjertet" af enhver elektromotor eller generator sidder der således magneter, som konverterer bevægelse til elektricitet eller omvendt.

På den baggrund skulle man tro, at det kun er de hårde magnetiske materialer, der er interessante at

forske i, hvis man er interesseret i at udvikle bedre permanente magneter. Men sådan er det ikke nødvendigvis. Teoretisk vil man kunne opnå nogle yderst interessante magneter ved at blande hårde og bløde magnetiske materialer. Ideelt set vil man med den rette blanding kunne kombinere de bedste egenskaber fra de to materiale-typer – og endda på en måde, hvor man populært sagt opnår, at resultatet bliver endnu bedre end summen af de to typer materials egenskaber. Ved Institut for Kemi og forsknings-

Magnetisme

Som de fleste kender fra skolens fysikundervisning, er der en tæt sammenhæng mellem elektricitet og magnetisme. Når strøm løber i en ledning skabes der derved et lille magnetfelt – og hvis man vikler ledningen til en spole, forstærkes det skabte magnetfelt proportionalt med antallet af viklinger. Tilsvarende kan man få en strøm til at løbe i ledningen ved at bevæge en magnet gennem den.

Når et materiale er permanent magnetisk skyldes det tilstedeværelsen af uparrede elektroner i materialet. Elektronernes spin (en kvantemekanisk egenskab ved elektronen, der oftest illustreres som elektronernes rotation om egen akse) og deres bane omkring atomkernen skaber et magnetfelt på atomart niveau. Disse små magnetfelter eller magnetiske momenter kan pege i forskellige retninger. På grund af elektronparring vil de fleste materialer have lige mange modsatrettede små magnetfelter, og derfor bliver det samlede magnetfelt nul. I permanent magnetiske materialer vil der derimod være en overvægt af uparrede elektroner med magnetfelter, der peger i samme retning. Hvor stærkt dette magnetfelt er, afhænger af antallet af uparrede elektroner i materialet, krystalernes størrelse og hvordan atomerne er placeret i krystalstrukturen.

Når man magnetiserer et materiale ved at pålægge et ydre magnetfelt, sker der altså konkret det i materialet, at man tvinger de atomare magnetiske momenter til at pege i samme retning.

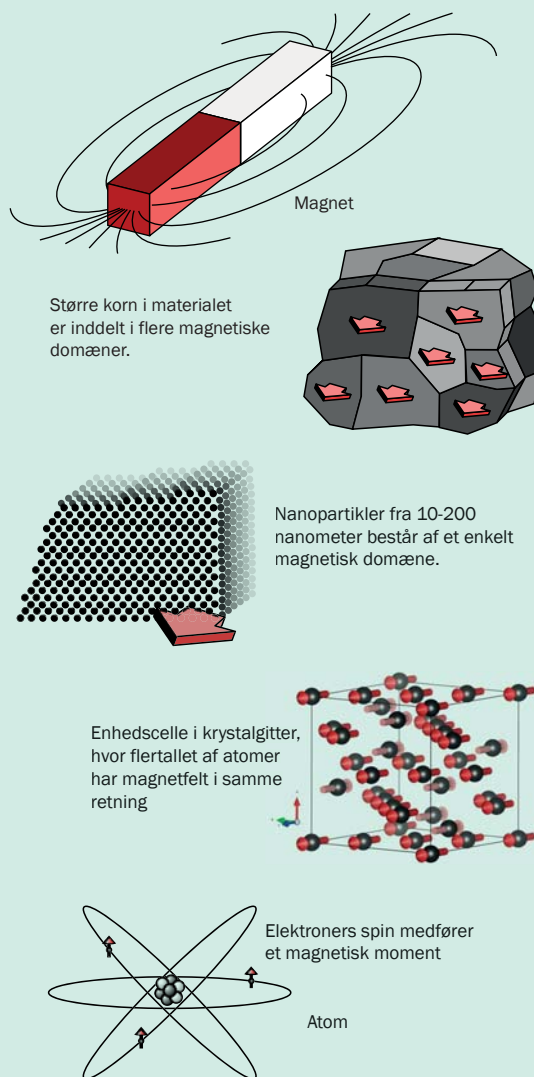


Illustration af magnetisme på forskellige skalaer.

centret iNANO ved Aarhus Universitet arbejder vi på at realisere sådanne magnetiske materialer i samarbejde med forskere ved Paul Scherrer Institutet i Schweiz. Til det formål har den ene af artiklens forfattere, Mogens Christensen, modtaget en bevilling fra Danmarks Frie Forskningsfond, Natur og Univers til at forske i *magnetiske nanokompositter*.

Vekselvirkninger med lovende perspektiver

Interessen for at udvikle nye magnetiske materialer er blandt andet drevet af et strategisk behov for at finde alternativer til såkaldte neodymmagneter (der består af grundstofferne neodym, jern og bor), som i dag er de stærkeste magneter på det kommercielle marked. Kina har mere eller mindre monopol på

verdensmarkedet for neodym, der tilhører de sjældne jordarter, og den slags afhængighed af en enkelt producent er sjældent godt, hvis man ønsker et stabilt marked. Derudover er forskningen i magneter i høj grad drevet af en grundvidenskabelig nysgerrighed for at forstå, hvad der foregår i magnetiske materialer på nanoskala, hvor kvantemekaniske fænomener spiller en stor rolle.

Fidusen ved at blande hårde og bløde magnetiske materialer for at opnå bedre magneter bunder netop i et kvantemekanisk fænomen, som giver sig udslag i en effekt, der på lidt kluntet dansk kan kaldes vekselvirknings-fjeder-magneter (på engelsk: exchange spring magnets). Denne effekt betyder, at magnetiseringen af det hårde magnetiske materiale vekselvirker med magne-

tiseringen i det bløde magnetiske materiale og dermed forstærker den samlede ydeevne af magneten. Man kan lidt forsimplet sige, at det hårde magnetiske materiale skal virke ligesom en elektromagnet, der består af en spole viklet omkring en jernklods (som er et blødt magnetisk materiale). Når man sender strøm gennem spolen, magnetiseres jernet. På samme måde vil man i nanomagnetiske kompositter, hvor de enkelte korn af henholdsvis hårde og bløde magnetiske materialer er i størrelsesordenen 10-200 nanometer, kunne opnå, at de hårde magnetiske domæner magnetiserer de bløde. For at få dette til at virke ordentligt kræver det, at man har ekstremt godt styr på, hvordan de hårde og bløde faser er ordnet, og hvordan de påvirker hinanden i materialet.

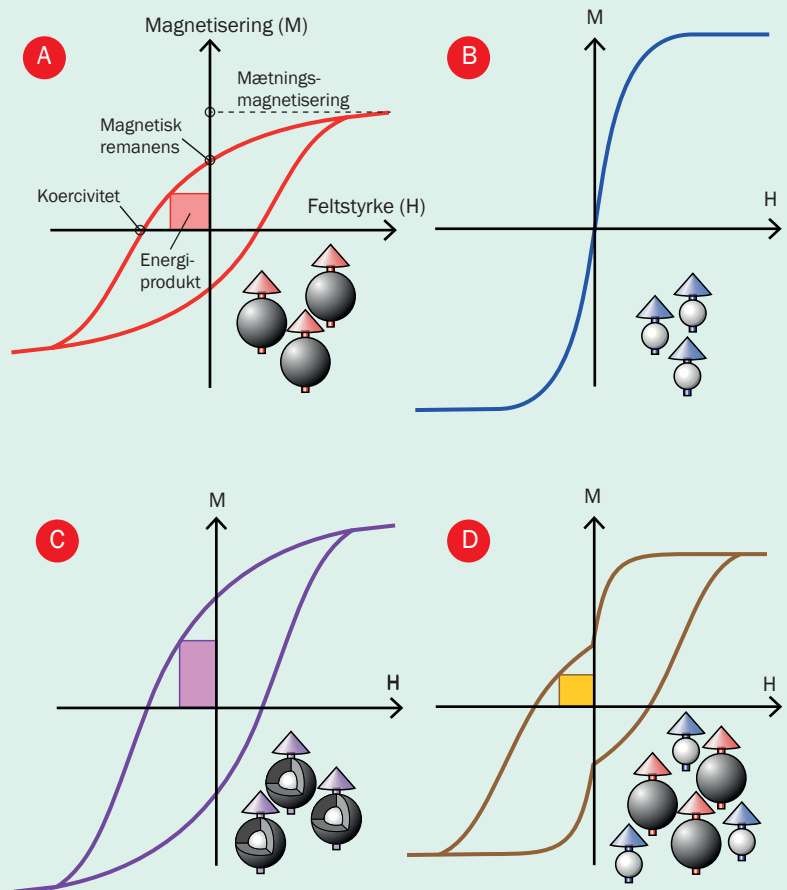
Magnetisering og hysteresekurver

En såkaldt hysteresekurve viser, hvordan magnetiseringen af et materiale ændrer sig som funktion af et pålagt magnetfelt. Figuren viser i A en hysteresekurve for et hårdt – dvs. permanent – magnetisk materiale, og definitionerne på de forskellige vigtige egenskaber ved en permanent magnet er angivet. I nedre højre hjørne vises magnetiske partikler, som de vil se ud ved mætning.

Det afgørende er, at vi får et så stort *energiprodukt* som muligt (energiproduktet er defineret som det størst mulige rektangel, det er muligt at indtegne under hysteresekurven i koordinatsystemets 2. kvadrant).

B viser hysteresekurven for et blødt magnetisk materiale.

Målet er nu at lave en permanent magnet, der består af en blanding af de to faser, og som kombinerer det bedste fra de to – altså i det viste tilfælde en høj mætningsmagnetisering fra den bløde magnet kombineret med en høj koercivitet fra den hårde. I den perfekte vekselvirknings-fjedermagnet vil hysteresekurven komme til at se ud som i C. Tegningerne nedenunder kurven



viser, at faserne i vores magnet er ordnet sådan, at vi har korn med en kerne af cobaltjern med cobaltjernetoxid udenpå. Hvis de to materialer

ikke er blandet perfekt, ender man i stedet med en kurve som vist i D, hvor man ikke har opnået et større energiprodukt.

Teoretisk blev vekselvirknings-fjedermagneter allerede foreslået i 1991. Der gik dog mere end ti år, før der var forskere, der kunne vise effekten i et konkret magnetisk materiale. Siden har den videnskabelige litteratur været rig på eksempler på sådanne magneter, der hævdes at vise effekten. Men desværre er der oftest tale om magneter, hvor egenskaberne af henholdsvis de hårde og bløde magnetiske faser i materialet blot lægger sig i "forlængelse af hinanden" og ikke forstærker hinanden på den måde, som virkelige vekselvirknings-fjedermagneter teoretisk er i stand til. For at forstå denne helt afgørende detalje, må vi dykke lidt længere ned i egenskaberne af magnetiske materialer.

Når kurverne smelter sammen

Egenskaberne af magnetiske materialer er lettest at visualisere med en såkaldt hysteresekurve, der viser hvordan magnetiseringen af materialet ændrer sig, når man udsætter det for et eksternt magnetfelt.

Når man skruer op for det pålagte magnetfelt, vil magnetiseringen i materialet også vokse indtil et vist punkt, hvor det populært sagt går i "mætning". Denne mætningsmagnetisering er således en af de vigtige egenskaber i et magnetisk materiale, og jo højere, jo bedre, hvis man ønsker kraftige magneter. Eksempelvis har jern en mætningsmagnetisering på 2,1 T (styrken af magnetfelter måles i enheden T = Tesla).

Hvis man fjerner det pålagte magnetfelt igen, vil magnetiseringen af materialet falde. I et blødt magnetisk materiale vil den falde til nul, så snart det eksterne magnetfelt går i nul. Men i et hårdt magnetisk materiale vil der være en tilbageværende magnetisering i materialet kaldet den *magnetiske remanens*, og størrelsen på denne er selvfølgelig en vigtig egenskab for en permanent magnet. Neodymmagneter ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$) har en remanent magnetisering på omkring 1 T.

En tredje vigtig egenskab for en permanent magnet er, hvor stabil den tilbageværende magnetisering er – en egenskab kaldet *koerciviteten*. Denne kan måles ved at



Konstruktionen af ESS er i fuld gang i Lund, Sverige. Her er man i gang med bygningen, som skal huse target, som er lavet af wolfram. Når denne bombarderes med protoner, producerer neutroner, som efterfølgende dirigeres ud til en række eksperimenter. Foto: ESS

Neutroner til forskningen

Der findes i Europa kun en håndfuld faciliteter, der kan producere neutroner til forskningsformål.

Paul Scherrer Institutet (PSI) i Schweiz råder over en af disse – en såkaldt neutronspallationskilde, som frembringer neutronerne ved at accelerere protoner op til høj hastighed og derefter banke dem ind i tunge atomkerner.

En ny europæisk spallationskilde (ESS) er i øjeblikket under konstruktion i Lund, Sverige. ESS bliver verdens kraftigste neutronkilde, hvilket betyder at vi kan udtænke helt nye eksperimenter, hvor vi vil kunne se endnu flere detaljer og måle data op mod 100 gange hurtigere. For vores forskning kan det for eksempel konkret betyde, at vi i stedet for at kunne få målinger af

omdannelsen af cobaltjernoxid til cobaltjern hvert 8. minut, kan måle hvert 5. sekund.

Danske forskere leder opbygningen af 2 af de 15 instrumenter, som er godkendt til konstruktion ved ESS. ESS vil producere de første neutroner i 2020 og forventes at være fuldt operationsdygtig i 2025.

vende det pålagte magnetfelt om og se, hvor højt, der skal skrues op for fuldstændigt at afmagnetisere materialet igen.

Den egenskab, vi ønsker at booste i det magnetiske materiale, er det såkaldte energiprodukt, som kan siges at være en egenskab, der er afledt af koerciviteten og remanensen. Det maksimale energiprodukt er interessant, fordi det er udtryk for en permanent magnets totale ydeevne.

Som det er fremgået, er hysteresekurverne for henholdsvis hårde og bløde magnetiske materialer i udgangspunktet meget forskellige. Når det er interessant at blande hårde og bløde magnetiske materialer

i en magnet, er det fordi de to faser kan bidrage med forskellige positive egenskaber til det samlede materialer. Det bløde materiale kan have en høj mætningsmagnetisering, mens det hårde materiale kan have en høj magnetisk stabilitet (koercivitet). I den perfekte vekselvirknings-fjeder-magnet, vil de to materials hysteresekurver smelte sammen til en jævn kurve, hvor vi får de bedste fra begge materialer – og vel at mærke med et energiprodukt, der er større end det hårde magnetiske materiale vil have alene.

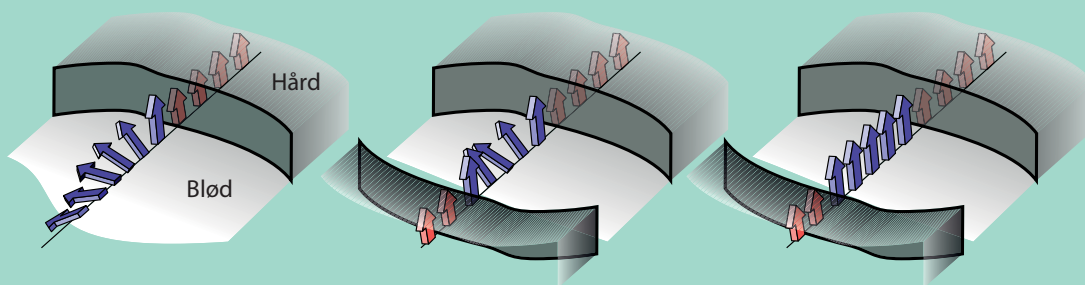
Cobaltjernoxid viser vejen

Det har vist sig meget, meget svært at lave et materiale, der udviser en sådan sammensmeltet hysteresekurve i praksis. Derfor er det afgørende at forstå alle detaljer omkring materialerne for at kunne forudsige og designe deres egenskaber.

På Aarhus Universitet arbejder vi med et modelsystem, hvor vi laver vores vekselvirknings-fjeder-magnet ud fra cobaltjernoxid (CoFe_2O_4). Vi fremstiller først cobaltjernoxid i vandig syntese ved højt tryk og temperatur, hvor metalsalte opløst i vand udfælder som CoFe_2O_4 . Ved derefter at lede en gasblanding indeholdende hydrogen gennem materialet og varme det op, reduceres en del af cobaltjernoxiden til cobaltjern (CoFe_2). Vores magnet består således af en blanding af disse to faser (CoFe_2O_4 og CoFe_2),

Princippet i en veksel-virkningsfjedermagnet

De røde piler viser magnetiseringsretningen i hårdmagneten, mens de blå piler, hvis magnetiseringsretningen i den bløde magnet.



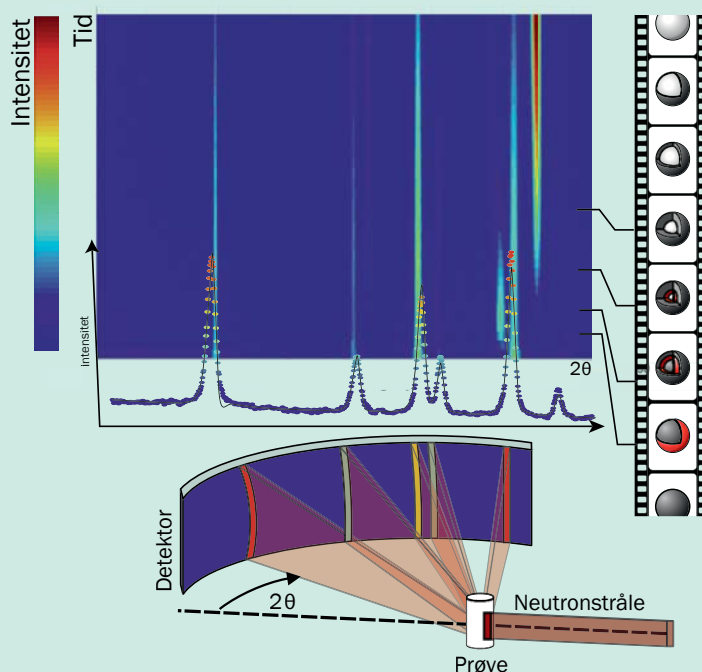
1. Vi begynder med store korn af et blødt og hårdt magnetisk materiale. Her kan den hårde magnet ikke "holde på" det bløde materials magnetisering. Gør vi materialekornene tilstrækkeligt små, kan vi observere effekten med vekselvirknings-fjedermagneten.

2. Her er der nu pålagt et modsatrettet magnetfelt, og de uparrede elektrons magnetiske moment vil begynde at rotere og rette sig ind efter det eksterne felt.

3. Til slut sættes det eksterne felt igen til nul, og den bløde magnets magnetisering vil som en fjeder "springe" tilbage og følge den hårde magnet (deraf navnet vekselvirknings-fjedermagnet).

Pulver-diffraktion

Figuren viser nederst en principskitse af et eksperiment med pulver-diffraktion. Neutronstrålen kommer fra højre og rammer vores materiale, der består af et fint pulver. Materialet spredte neutroner ind i detektor, hvor intensiteten i et diffraktogram måles som funktion af vinkel. Pulver-diffraktogrammet ses lige over skitsen af instrumentet, og det rummer information om de forskellige faser, som findes i prøven og deres indbyrdes krystalstruktur (altså hvor atomerne sidder i forhold til hinanden). Det kan også fortælle os noget om de atomare magnetiske momenter på grund af neutronens vekselvirkning med det atomare magnetiske felt. Det farvede 2D-plot øverst viser en række diffraktogrammer, som er optaget som funktion af tid. Bunden af plottet svarer til begyndelse af eksperimentet, mens toppen er efter 5 timers reduktion af prøven af cobaltjernoxid i en atmosfære af hydrogen og argon.



Filmstripen til højre viser en forenklet fortolkning af den information, vi har været i stand til at trække ud af 2D-diffraktogrammerne. Vi kan se, at vi starter med cobaltjernoxid, og

i processen får vi dannet et metal-monooxid, illustreret med rødt, som forsvinder i processen og til sidst dannes cobaltjern.

hvor cobaltjernoxid udgør den hårde magnet, mens cobaltjern er den bløde. Faktisk er CoFe_2 med en mætningsmagnetisering på 2,4 T blandt de allerbedste bløde magneter, som kendes i dag.

For at vi kan forstå, hvordan vores magnet "virker", er det ikke nok bare at måle på materialet, efter at det er fremstillet. Nej, vi har brug

for at forstå, hvad der sker under omdannelsen af CoFe_2O_4 . Derfor har vi altså brug for en teknik, der populært sagt kan kigge den kemiske omdannelse af CoFe_2O_4 i kortene.

Neutroner afslører detaljerne

En sådan teknik findes heldigvis i form af *in situ* neutron-pulverdiffraktion. Her bombarderer vi vores prøve, som består af et fint pulver af

materialet, med en neutronstråle og måler, hvordan neutronerne spredes i materialet. "In situ" betyder i denne sammenhæng blot, at målingerne foregår, mens de kemiske processer finder sted. Normalt bruger man røntgenstråler til pulverdiffraktion, men neutroner har tre egenskaber, der er afgørende for succes i dette forsøg. For det første kan de kende forskel på jern og cobalt, hvilket er



Foto: Carsten R. Kjaer

Om forskeren

Mogens Christensen er lektor ved Institut for Kemi og iNANO ved Aarhus Universitet. Han er også tilknyttet det nye strategiske forskningscenter iMAT (Centre for Integrated Materials Research) ved Science and Technology, AU. Mogens forsker i videnskabelige spørgsmål relaterede til permanente magnetiske materialer, hvor både grundvidenskabelige og anvendelsesmæssige aspekter er i fokus. En del af de grundvidenskabelige aktiviteter i forskningsgruppen ledet af Mogens er

bevilliget af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers og omhandler vekselvirknings-fjedermagneter som omtalt i denne artikel. Desuden leder Mogens designet af instrumentet HEIMDAL, som bygges ved den Europæiske Spallationskilde (ESS). Instrumentet bliver det ultimative værktøj til at undersøge magnetiske materialer med. Endelig er forskningsgruppen også indgået i et samarbejde omkring svævende svinghjul, som skal lagre vedvarende energi fra sol og vind.

Videre læsning
Mogens Christensens projekt *Magnetic Nanocomposites* er finansieret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers (DFF-forskningsprojekt 1). Se DFF's bevillingsliste på www.dff.dk

Læs mere om magnetisme på nanoskalaen i artiklen:
Nanomagneter – størrelsen betyder noget.
Aktuel Naturvidenskab nr. 4/2014.

nærmest umuligt med røntgenstråler. For det andet har neutronen et lille magnetisk moment, som gør det muligt at følge udviklingen af den atomare magnetisme under målingerne. Og for det tredje har neutronen stor gennemtrængningskraft, så vi forholdsvis let kan lave en eksperimentel opstilling, hvor hydrogengas bobles igennem en prøve af CoFe_2O_4 .

Vores neutronmålinger har afsløret, at faseovergangen ikke går direkte fra CoFe_2O_4 til CoFe_2 , men går gennem en midlertidig fase, hvor der dannes cobaltoxid (CoO). At der dannes et mellemprodukt i processen kan umiddelbart synes ligegyldigt, hvis det forsvinder igen, og man kun ender med de produkter, man er interesseret i. Men dannelsen af sådanne mellemprodukter kan måske have betydning for de magnetiske vekselvirkninger

i materialet. Vores målinger har vist, at vi ved at styre reduktionsbetingelserne meget omhyggeligt næsten kan undgå dannelsen af mellemproduktet cobaltoxid, hvilket lader til at give bedre resultater for de endelige magnetiske nanokompositter.

Nye magneter og energilagring

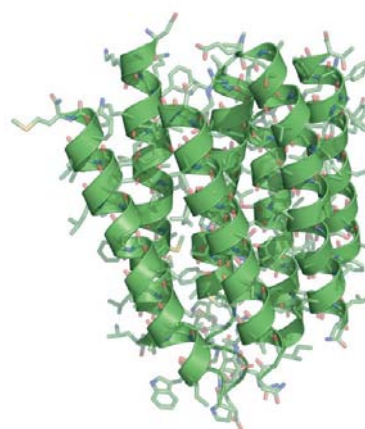
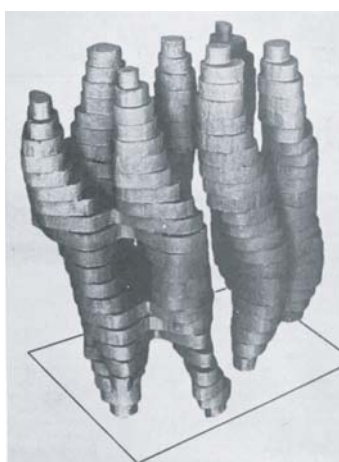
I vores forskning er det lykkedes os at fremstille en magnet, som har 10 gange større energiprodukt i forhold til den oprindelige prøve af cobaltjernoxid. Magneter baseret på netop en blanding af cobaltjernoxid og cobaltjern vil dog næppe kunne blive industrielt interessante – dertil er cobalt alt for dyrt. Men den detaljerede viden, vi opnår ved studier af vores modelsystem, kan vi overføre på andre systemer og derved udvikle helt nye magneter af nanokomposit-materialer.

De forbedrede magnetiske materi-

aler, som vores forskning udmønter sig i, vil kunne finde anvendelse indenfor en række forskellige teknologier. Eksempelvis skal vi ved Institut for Kemi og iNANO i et nystartet forskningsprojekt finansieret af Innovationsfonden arbejde sammen med kolleger fra Institut for Ingeniørvidenskab samt industrielle partnere om at bruge magnetisk svævende svinghjul til at lagre energi. Magneterne vil i svinghjulet sørge for, at en cylindrisk masse holdes svævende, så den kan rotere uden gnidningsmodstand. Svinghjul kendes allerede i dag, men de er karakteriserede ved relativt hurtigt at miste den oplagrede energi ved selvafladning. Ved at bruge nanokomposit-magneter, der ikke er elektrisk ledende, bliver det muligt at mindske energitabet. På den måde kan nanomagneter hjælpe med at lagre vedvarende energi fra sol og vindmøller. ■

SPOT PÅ LIVETS MOLEKYLER

Et elektronmikroskop er som udgangspunkt ikke velegnet til at undersøge biologiske molekyler som proteiner. Men det har årets tre nobelpristagere i kemi lavet om på.



Til venstre ses den første 3D-model af proteinet bacteriorhodopsin, som Richard Henderson publicerede i *Nature* i 1975. I 1990 publicerede han en struktur i atomar opløsning af samme protein (th).

Smag på ordet cryo-elektronmikroskopi. Det lyder måske nørdet, men det er en Nobelpris værd. Kort fortalt kan man med denne teknik skabe tredimensionelle billeder af biologiske molekyler med atomar opløsning. Og evnen til at kunne gøre det har haft så stor videnskabelig betydning, at tre hovedmænd bag udviklingen af teknikken, Jacques Dubochet, Joachim Frank og Richard Henderson, i år har modtaget Nobelprisen i kemi for deres indsats.

Et grundvilkår for al mikroskopi er, at man ikke kan se noget, der er mindre end bølgelængden af det lys, man undersøger sin prøve med. Derfor kan almindelige lysmikroskoper ikke "se" objekter mindre end 400-700 nanometer. For at se mindre strukturer kan man i stedet bruge røntgenstråling. Men

hvis man undersøger biologiske molekyler som proteiner, er det en udfordring, at de bliver ødelagt af strålingen. Det problem kan løses, hvis man kan få proteinerne til at danne krystaller. Og det er baggrunden for teknikken røntgenkrystallografi, som har været brugt til at afsløre strukturen af mange biologiske molekyler – blandt andet DNA, store proteiner og viruspartikler. I starten af 1980'erne kom endnu en teknik til, nemlig nuklearmagnetisk resonans spektroskopi (NMR). Med denne teknik kan man studere mindre biologiske molekyler i både fast form og i opløsning og også tilgå dynamiske strukturer og deres vekselvirkning med andre molekyler.

De to metoder har været meget succesfulde, men som alle metoder har de også begrænsninger. Undersøger man biologiske molekyler i opløsning med NMR, virker meto-

den kun godt for relativt små proteiner, og der kræves store mængder i høj koncentration. Og som nævnt kræver røntgenkrystallografi, at biomolekylerne "fastfryses" i en krystalstruktur. Det giver dermed kun information om denne statiske tilstand og lokal dynamik, mens overordnet dynamik kun kan afdækkes gennem mange individuelle krystalstrukturer, der repræsenterer forskellige tilstande. Mange biomolekyler kan slet ikke bringes til at danne krystaller og kan derfor ikke undersøgelses med røntgenkrystallografi.

Gennembrud for elektronmikroskopi

I 1970'erne kastede Richard Henderson sin interesse på elektronmikroskopi som en alternativ teknik til at undersøge de membranproteiner, han var interesseret i. Et transmissions-elektronmikroskop virker i

princippet som et lysmikroskop, men i stedet for synligt lys, er det en elektronstråle, der sendes gennem prøven. For at opnå billeder med atomar opløsning skal elektronstrålen dog være så intens, at den brænder prøven af. Desuden kræver et elektronmikroskop, at prøven befinder sig i vakuum, hvilket lynhurtigt udtørre det biologiske materiale, så det kollapser og mister sin struktur.

Henderson arbejdede med proteinet bacteriorhodopsin, som er et lilla-farvet protein, der sidder indlejret i cellemembranen og fanger energien fra Solens stråler hos organismer, der udfører en simpel form for fotosyntese. Det er faktisk disse proteiner, der giver saltsøer deres farverige udseende, da det blandt andet er saltelskende bakterier, der har disse proteiner i cellemembranen. Ved at undlade at isolere proteinet, men i stedet lade det blive siddende i membranen og dække hele molevitten med en opløsning af glukose for at beskytte mod vakuum, lykkedes det Henderson og kolleger at undersøge proteinet i et elektronmikroskop. I 1975 kunne forskerne præsentere en grov 3D-model af bacteriorhodopsins struktur, og i 1990 havde de forfinet teknikken i en grad, så strukturen nu var i atomar opløsning.

Proteinet bacteriorhodopsin udmærker sig ved naturligt at pakke tæt som velordnede, 2-dimensionelle krystaller i bakteriemembranen, hvilket var en stor hjælp for forskerne i forhold til at afsløre dets struktur. Et godt spørgsmål var derfor, om det var muligt at generalisere metoden, så man også kunne skabe 3D-afbildninger af proteiner, som var mere tilfældigt spredt i prøven og orienteret i forskellige retninger.

Billedbehandling og vand på glasform

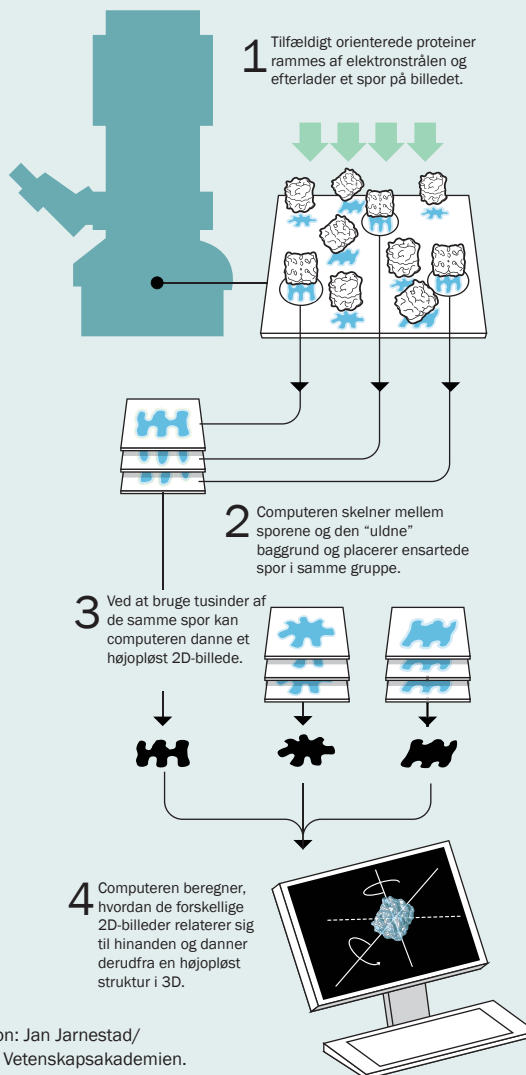
Den udfordring kom den anden af årets Nobelpristagere, Joachim Frank, med en løsning på. Hans bidrag til historien er udviklingen af en metode, som kunne samle informationen fra en masse billeder



Pristagerne

Jacques Dubochet (th) er fra Schweiz og er i dag æresprofessor ved universitetet i Lausanne. Joachim Frank (tv) er tysker og i dag professor ved Columbia University, USA. Richard Henderson (midt) er skotte og i dag programleder ved MRC Laboratory of Molecular Medicine, Cambridge, England.

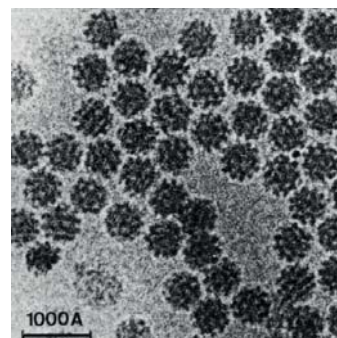
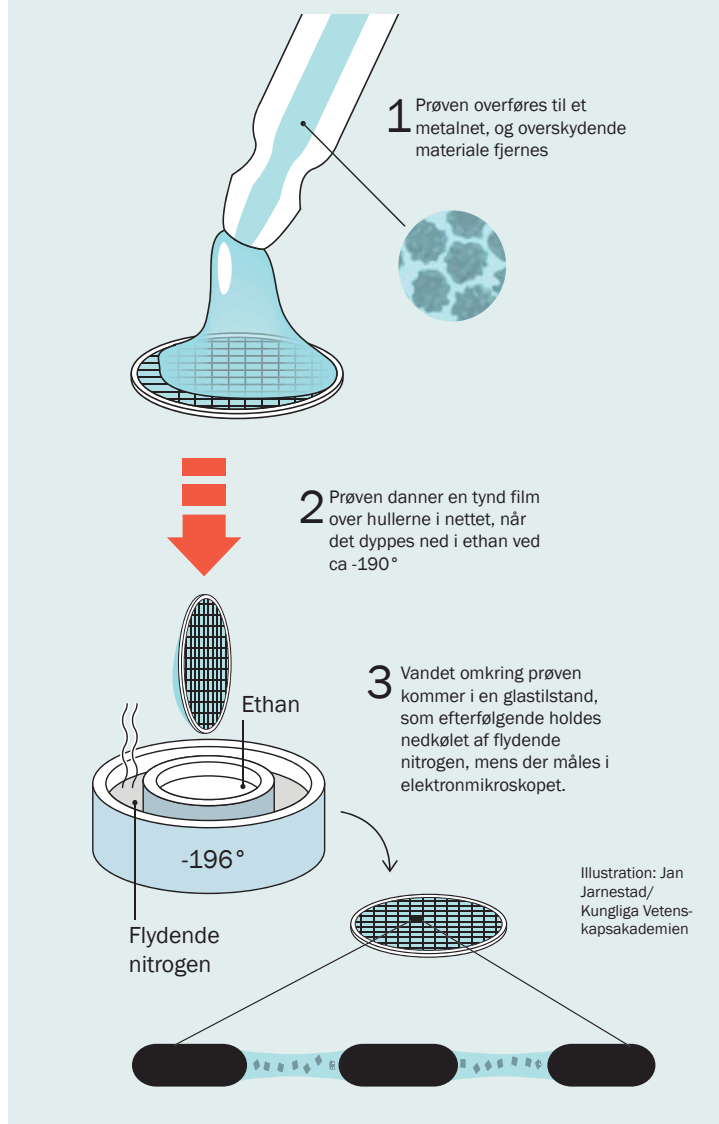
Princippet i Joachim Franks metode til billedanalyse



af enkelt-partikler af biomolekyler som 2D-projektioner i alle mulige orienteringer til at genskabe en 3D-rekonstruktion af partiklen. I midten af 1980'erne publicerede

Frank centrale applikationer af denne metode til billedanalyse og brugte den i 1990'erne til at lave de første modeller af den overordnede form af ribosomet – en kæmpestor

Jacques Dubochets "vitrifikations-metode"



Dubochet genererede de første billeder af vira omgivet af vitrificeret vand i 1984. Billede fra Nature 308: 32-36.

At bringe vanddråber på glasform var i sig selv en bedrift, som mange forskere dengang troede umuligt. Efter dette gennembrud i 1982 udviklede Dubochet og kolleger hurtigt fundamentet for den teknik, der i dag stadig bruges til at forberede prøver til cryo-elektronmikroskopi -eller cryo-EM, som det blot kaldes.

Cryo-EM i Danmark

Siden de tre nobelpristagere udviklede de tre afgørende brikker til cryo-EM, er teknikken til stadighed blevet forfinet. I dag anvendes cryo-EM vidt omkring, da teknikken har en række fordele. Dubochets vitrifikations-metode (som den kaldes) er relativt nem at bruge og kræver kun meget små prøvestørrelser. På grund af den hurtige nedkølingsproces kan biomolekylerne stivne midt i deres aktivitet, og forskere kan derfor tage billedserier, som fanger forskellige dele af en proces og viser, hvordan proteiner bevæger sig og vekselvirker med andre molekyler.

En praktisk udfordring er, at elektronmikroskoper er store, komplicerede og dyre apparaturer, som de enkelte forskningsgrupper, universiteter og virksomheder har svært ved at finansiere driften af. Lige som for mange andre typer storskala-anlæg til naturvidenskabelig forskning som partikelacceleratorer og synkrotroner ser man derfor i stigende grad, at cryo-EM organiseres som faciliteter, der kan understøtte mange brugere på nationalt eller internationalt plan. Det kan også blive tilfældet i Danmark,

samling af molekyler, der populært sagt fungerer som cellens proteinfabrik. Disse studier har siden kunnet drives til høj opløsning i mange forskellige laboratorier og har givet direkte information om atomare strukturer af ribosomer i forskellige funktionelle tilstande. Samme metode anvendes i dag på alle større biomolekyler.

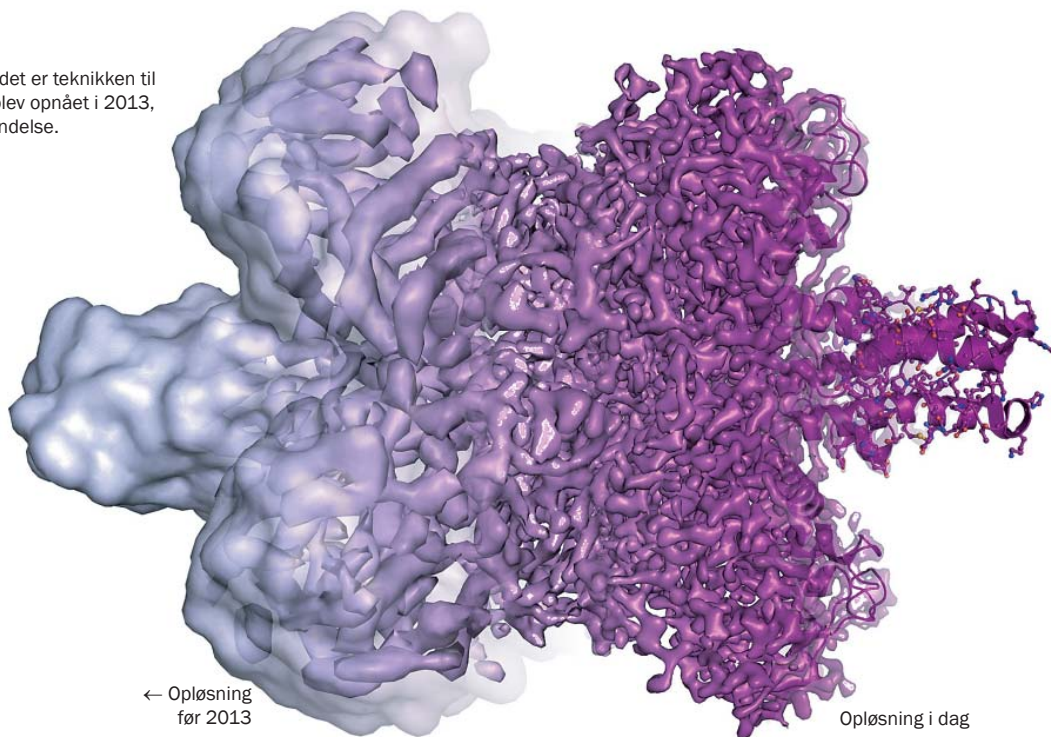
At Frank lykkedes med sit forehavende skyldtes blandt andet, at den tredje nobelpristager, Jacques Dubochet, forinden havde fundet en generel løsning på den udfordring, at biologiske molekyler tørrer ud i vakuum. Henderson havde løst problemet ved at beskytte

prøven af cellemembraner med en glukoseopløsning – men den fremgangsmåde dur ikke for vandopløselige biomolekyler. Andre forskere havde forsøgt sig med nedfrysning af prøven, men de dannede iskrystaller spredte elektronstrålen i en grad, så billederne blev ubrugelige. Dubochets løsning blev at fryse prøven som tynd film i flydende ethan, hvilket sker så hurtigt, at vandet bliver fanget i en glastilstand i stedet for som iskrystaller. Fordelen ved det er, at i glastilstanden er vandmolekylerne uordnede ligesom i flydende vand, og det vil derfor sprede elektronstrålen jævnt og relativt svagt og skabe en ensartet baggrund.

Siden cryo-elektronmikroskopi blev opfundet er teknikken til stadighed blevet bedre. Et stort fremskridt blev opnået i 2013, hvor en ny type elektrondetektor kom i anvendelse. Billede: Martin Högbom.



Sådan ser et moderne cryo-elektronmikroskop ud. På billedet ses det instrument, som er installeret på Aarhus Universitet. Foto: Lisbeth Heilesen.



hvor Københavns Universitet og Aarhus Universitet har indgået et tæt samarbejde omkring cryo-EM. Centralt for dette samarbejde er der installeret to topklasse mikroskoper på AU og KU med støtte fra private fonde til førende forskningsgrupper

i strukturbologi. Dette samarbejde stiller også mod at danne en national forskningsinfrastruktur, så cryo-EM-revolutionen kan udbredes generelt til de danske forskningsmiljøer og vidensbaserede innovationsmiljøer og industrier.

Videre læsning

Artiklen er baseret på den populærvidenskabelige artikel *They captured life in atomic detail*, publiceret på Nobelprisen hjemmeside. www.nobelprize.org Professor Poul Nissen, Aarhus Universitet, har venligst bidraget med kommentarer og perspektiver.

FALDSKÆRM I FART PÅ ALSION

Vi inviterer alle fysikhold i det almene gymnasium og htx til Faldskærm i fart-konkurrencen på Alsion i Sønderborg torsdag den 7. december 2017 kl. 10-14.

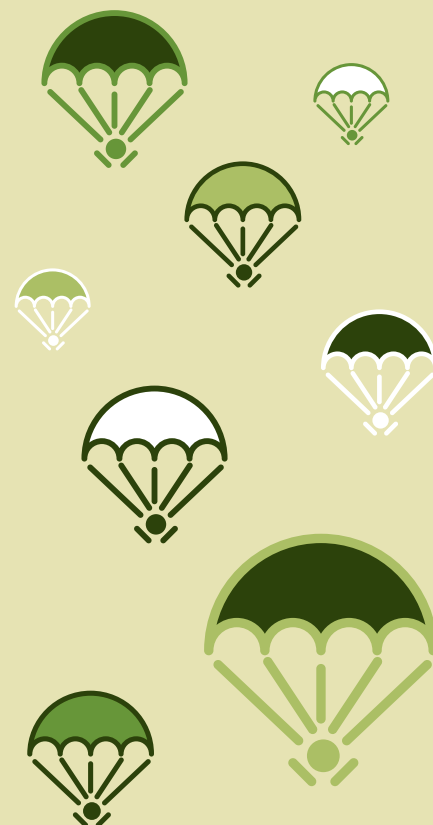
Faldskærm i fart på SDU Sønderborg er en konkurrence for gymnasier, hvor fysikklasser på alle niveauer er inviteret til at dyste med deres egne selvbyggede faldskærme i de to konkurrencediscipliner Premium Class Award og Innovation Award.

Tilmeldte klasser får tilsendt et Faldskærm i fart-kit med undervisningsmateriale, der kan anvendes i forberedelsen til konkurrencen, samt materialer og udstyr, der egner sig til at konstruere små faldskærme af.

På konkurrencedagen sendes faldskærmene ud i frit fald på 12,5 meter inde i universitetsbygningen Alsion. Der er flotte præmier til vinderne af de to konkurrencediscipliner.

Tilmeldingsfrist er onsdag den 15. november.

Mere information og tilmelding finder du her:
www.sdu.dk/faldskaermskonkurrence





FOSTRET UNDER LUP

Om forfatterne



Ida Charlotte Bay Lund er ph.d.-studerende ved Institut for Biomedicin, Aarhus Universitet (AU). Hun forsker i genetisk fosterdiagnostik og er tilknyttet Klinisk Genetisk Afd., Aarhus Universitetshospital (AUH) og Center for Fosterdiagnostik ved AUH/AU. Ida har modtaget ph.d.-stipendiat fra AU og Fonden af 17-12-1981. idachalu@rm.dk



Ida Vogel har en ph.d.- og doktorgrad i medicin og er seniorforsker ved Center for Fosterdiagnostik, AU/AUH. Hun blev speciallæge i Klinisk Genetik i 2007 og har tidligere været ledende overlæge på Klinisk Genetisk Afd., AUH, og er nu overlæge samme sted. Derudover er hun klinisk lektor ved Institut for Biomedicin, Aarhus Universitet. Hendes forskning er støttet Novo Nordisk Fonden. idavogel@rm.dk

Foto: Colourbox

Den rivende udvikling indenfor DNA-teknologi gør det muligt at opnå stadig mere detaljeret viden om risikoen for genetisk betingede sygdomme hos fosteret under graviditeten. Fosterdiagnostik er derfor en følsom teknologi på flere planer.

Fosterdiagnostik er en teknologi, som udvikler sig i allerhøjeste gear - og det er også hardcore naturvidenskab. Fysik anvendes i 3D-ultralydsskannere på den gravides mave, hvor blodet i fosterets hjerte vises i røde og blå farver. Kemi kommer i spil, når den nyeste sekventeringsteknologi bruges til at undersøge fosterets DNA, hvorved millioner af molekyler analyseres på ingen tid. Matematik bliver efterfølgende en vigtig brik, når resultater af undersøgelserne skal kommunikeres til den gravide og hendes partner. Hvor stor er sandsynligheden for sygdom hos fosteret? 1 til 1000? Eller 100 % for alvorlig sygdom? Og i de svære tilfælde,

hvor der er usikkerhed forbundet med resultatet, bliver ekspertviden og professionel kommunikation afgørende for, at parret føler sig mødt i en svær situation. Derfor er fosterdiagnostik ikke kun natur- og sundhedsvidenskab, men i høj grad også humaniora og samfundsvidenskab. Fosterdiagnostik er fascinerende teknologi, men stiller os overfor personlige og følsomme valg som: »Skal jeg vælge at få fosteret screenet for kromosomfejl?« eller »Den information, som lægen har givet mig, kan få mig til at tvivle på, om jeg ønsker at fortsætte graviditeten«. Fosterdiagnostik omhandler det mest essentielle og følsomme i vores liv - nemlig vores reproduktion.

For det meste går befrugtning og fosterlivet godt - sådan er naturen indrettet, heldigvis! En "forpustet" sædcelle, som har været i kapløb med millioner af andre sædceller, trænger ind i ægcellen. Ni måneder og mange succesrige celledelinger senere fødes et velskabt barn. Til trods for den tilsyneladende høje succesrate, sætter vi alligevel "fostret under lup" ved at tilbyde fosterdiagnostik til *alle* gravide. Fosterdiagnostik er en screening, som har til formål at give viden om graviditeten og fosterets tilstand. Forhold ved både den gravide og ved fosteret kan betyde, at der bør tages forholdsregler i graviditetens forløb eller i forbindelse med fødslen. Hvis blodprøver på den gravide

Maven beregnes og undersøges

Datoen for kvindens sidste menstruations første dag bruges til at beregne terminen (hvornår barnet forventes at blive født). En graviditet varer cirka 40 uger fra sidste menstruations første dag, og da ægløsning er sket cirka to uger efter denne dag, er det cirka 38 uger siden, befrugtningen skete, når barnet bliver født. Graviditeten opdeles i tre "trimestre", hvor 1. trimester er uge 0-12, 2. trimester er uge 13-28 og 3. trimester er uge 28-40. Allerede i graviditetsuge 10 kan en speciallæge indenfor kvindesygdomme og fødsler foretage en moderkageprøve. Moderkageprøven tages meget tidligt i tilfælde af kendt genetisk sygdom i familien, hvor DNA-analysen kan målrettes mod den specifikke genfejl i familien. De fleste moderkageprøver tages dog i forbindelse med screeningen i uge 11-14, hvis en risikoberegning ud fra den gravides alder, hormonmålinger i blodet og ultralydsskanning af fosteret viser høj risiko for kromosomfejl hos fosteret. DNA'et fra moderkagecellerne analyseres med en udvidet kromosomundersøgelse kaldet *Kromosomal Mikroarray*. Ved denne analyse undersøges det, om alle gener er til stede i to kopier på alle kromosomerne.



Ultralydsbillede af foster i uge 12. Her kan man udmåle væskebræmmen i nakken, kaldet nakkefolden, der anvendes som et af de mål, der kan indikere risiko for kromosomfejl hos fosteret.

Nogle gange kan kvinden være gået i gennem den tidlige screening i første trimester med normalt resultat, men når der så senere foretages en skanning i 2. trimester, hvor fosteret undersøges for misdannelser, kan der alligevel være en misdannelse, som foranlediger en nærmere undersøgelse. I 2. trimester vil man tage en fostervandsprøve, hvor fostervandsceller kan undersøges. Fostervandsceller består af blandt andet afstødte

hudceller fra fosteret. Både moderkage- og fostervandsprøven foretages ved at stikke en kanyler gennem maveskindet på den gravide og herefter suges enten moderkagevæv eller fostervand ud. Tidligere rådgav man den gravide om, at der ved en moderkage- eller fostervandsprøve var 1 % risiko for at denne kunne føre til efterfølgende spontan abort. Den nyeste forskning viser heldigvis, at risikoen er mindre end 0,2 %.

eller ultralydsskanninger viser, at fosteret mistrives eller har misdannelser, kan der undersøges nærmere for forskellige årsager hertil: infektioner, mekaniske forhold, fejl på immunsystemet hos den gravide og endelig genetiske forhold, som vi vil koncentrere os om i denne artikel.

Genetisk viden om fosteret – hvorfor?

De seneste fem år har DNA-teknologien udviklet sig helt kolossalt, hvilket giver nye muligheder indenfor fosterdiagnostikken. Genetiske analyser kan være med til at udelukke en lang række alvorlige sygdomme hos fosteret. Omvendt kan genetisk viden om fosteret også fortælle, at det kommende barn vil blive sygt og

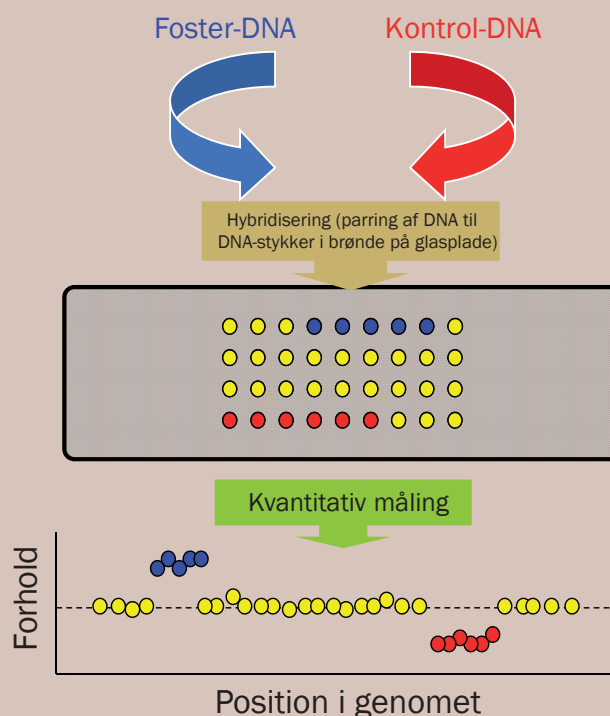
dermed give forældrene mulighed for at forberede sig mentalt og følelsesmæssigt på at få et barn med sygdom og handicap. Samtidig giver denne viden de sundhedsprofessionelle mulighed for at forberede sig på praktiske forhold før, under og efter fødslen. Viden om fosterets genetik kan altså være med til at give det kommende barn en bedre start på livet. Den gravide/parret kan også vælge at søge om tilladelse til afbrydelse af graviditeten (abort) efter 12. uge, hvis det kommende barn er eller vil blive alvorligt syg. I retningslinjerne for fosterdiagnostik fra Sundhedsstyrelsen, 2017, står der, at formålet med fosterdiagnostik er, ».....at give den gravide/parret mulighed for at træffe de valg,

der er rigtige for hende/den – ikke at hindre fødsel af børn med alvorlige sygdomme eller handicap«. Det er altid parrets ønsker, der tages udgangspunkt i, og juridisk set er det kvindens valg, hvad hun vil gøre i sådan en situation. Lægens rolle er, at give såkaldt ikke-direktional rådgivning. Det vil sige på en neutral måde at formidle viden om undersøgelsesresultaterne og rådgive om, hvad de betyder. Herunder at fortælle om, hvilke muligheder der er, for eksempel operationer på barnet, medicinsk behandling af symptomer, social og økonomisk støtte samt afbrydelse af graviditeten.

Der er mulighed for fri abort indtil uge 12, og mellem uge 12-22

Kromosomal Mikroarray

Kromosomal mikroarray er en form for udvidet kromosomundersøgelse, som kan detektere manglende eller ekstra kromosommateriale med en følsomhed ned til cirka 50.000 basepar. Med metoden kan alle kendte kromosomafvigelser undersøges på under 1 uge. Undersøgelsen udføres ved, at oprenset DNA fra moderkage- eller fostervands-celler farves for eksempel blåt og en kontrolpersons DNA rødt. DNA'et fra foster og kontrolperson blandes og hældes på en glasplade med tusindvis af små brønde med stikprøver fra udvalgte steder i vores DNA dækkende alle kromosomregioner. De farvede DNA-stykker vil i fri konkurrence klistre til stikprøverne, og man vil farvemæssigt kunne aflæse, om fostret har den samme mængde DNA som kontrolpersonen svarende til hver stikprøve. Metoden finder ofte forandringer, som ikke er sygdomsfremkaldende, men er familiespecifikke variationer. Derfor må man jævnligt undersøge en blodprøve fra forældrene efterfølgende. Metoden påviser hos ca. 1 % familiespecifikke forandringer, som giver forøget risiko for eksempelvis autisme, ADHD eller indlæringsvanskeligheder. Disse risikofaktorer kan også være nedarvet fra raske forældre, som er uvidende om sådan en risiko. Flere ser dette som en ulempe ved metoden, som dermed kan give flere svar, end man ønsker sig. Graden af til-



Princippet i en test med Kromosomal Mikroarray. Grafen nederst viser, hvordan prikkerne skal ligge omkring en 0-linie på y-aksen, hvis fostret har de samme mængder DNA som kontrolpersonen. Hvis der er for meget blå farve, er der for meget foster-DNA i forhold til kontrolpersonens. Det betyder en duplikation, altså ekstra kromosommateriale i fostret. Hvis der er for meget rød farve, er der for lidt foster-DNA i forhold til kontrolpersonens – altså tab af kromosommateriale i fostret. På x-aksen kan man aflæse, hvor i genomet deletionen eller duplikationen er.

bagemelding bør derfor afstemmes forud for prøvetagning. Et af de syndromer, som metoden kan detektere, er fx Wolf-Hirschhorn syndrom, som skyldes tab af kromosomma-

teriale på det ene kromosom nr. 4. Børn med Wolf-Hirschhorn kan ses med karakteristiske ansigtstræk, psykomotorisk udviklingshæmning, epilepsi og hjerte-karmisdannelser.

er der mulighed for at ansøge abortsamrådet om tilladelse til abort, hvis fostret er alvorlig sygt. Efter uge 12 er det således den gravides ønsker, men samrådets valg. Antallet af provokerede aborter, som skyldes resultater af genetiske analyser i fosterlivet, udgør cirka 2 % af det samlede antal provokerede aborter i Danmark.

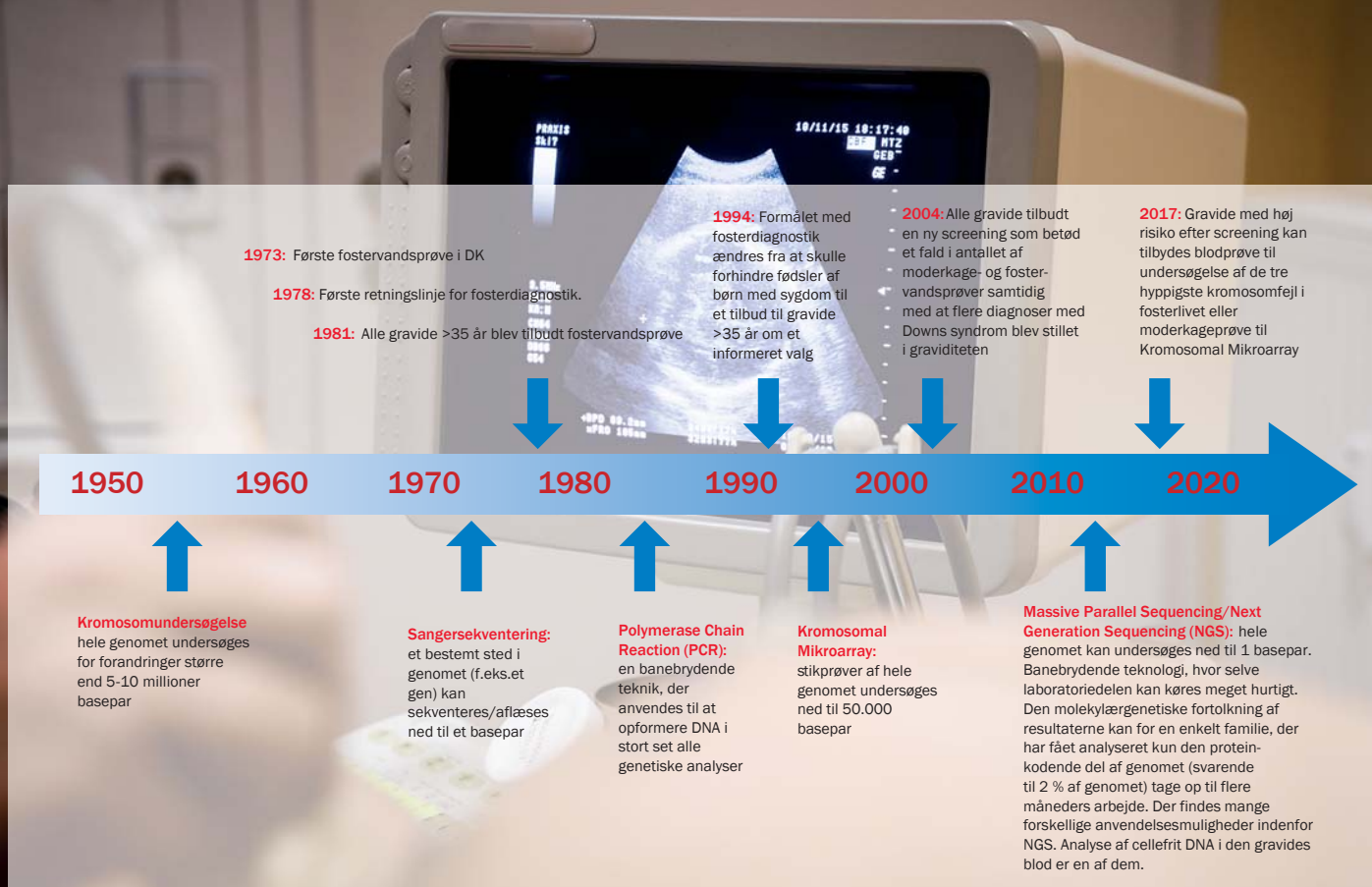
To streger og hvad nu?

Alle gravide bliver hos egen læge tilbudt information om en screening i graviditetens 11.-14.

uge, som kan udregne risikoen for kromosomfejl hos fostret. Hvis kvinden ønsker dette, tages der en blodprøve, hvor mængden af to hormoner (PAPP-A og beta-hCG) fra moderkagen måles. Herefter indkaldes den gravide til ultralydsskanning på hospitalet. På alle fostre kan man ved ultralydsskanningen se en væskefyldt bræmme ved nakken, kaldet nakkefolden. Resultaterne af blodprøverne og moderens alder anvendes sammen med målet af nakkefolden til at udregne en risiko for kromo-

somfejl, da en stor nakkefold medfører en øget risiko for kromosomfejl.

I forbindelse med indførelsen af det første screeningsprogram i 1978 var det Downs syndrom, der var fokus på. Downs syndrom skyldes et helt ekstra kromosom nr. 21. Et ekstra kromosom kaldes trisomi fra det græske "tri", som betyder tre, og "soma", som betyder legeme; tre kopier af et bestemt kromosom i stedet for de normale to kopier. Personer med Downs syndrom har



Tidslinje over udviklingen af den danske sundhedsstyrelses retningslinjer for fosterdiagnostik (øverst) sammenholdt med udviklingen inden for genetiske analyser. Baggrundsfoto: Colourbox.

således trisomi 21. I dag ved vi, at både en stor nakkefold hos fosteret samt skæve hormonmålinger i den gravides blod kan betyde, at der kan være mere end hundrede andre kromosomfejl. Disse andre kromosomfejl, som kan inkludere selv små kromosomdele, kan være med til at give det kommende barn alvorlige fysiske og mentale udfordringer.

Så tælles der DNA-molekyler...

Hvis risikoen, beregnet ud fra screeningen, er høj for kromosomafvigelse hos fosteret, kan kvinden vælge imellem to genetiske undersøgelser. Den ene er en genetisk test af det DNA, som flyder rundt fra moderkagen i den gravides blod. Testen foregår ved, at den gravide får taget en ny blodprøve. Den anden mulighed er en genetisk undersøgelse af DNA fra moderkageceller udtaget ved en moderkageprøve. Mindre end 10 % af kvinder i "højrisiko-gruppen" vælger ikke at gå videre med flere undersøgelser. Fordelen ved blodprøven er, at den er non-invasiv modsat moderkageprøven, der er invasiv og kan medføre en øget risiko for abort (om

end den er meget lille, <0,2 %). Den genetiske test via blodprøven kaldes derfor for NIPT (som står for *non-invasive prenatal testing*). Ulempen ved NIPT er, at den på nuværende tidspunkt kun kan screene for de tre hyppigste kromosomfejl, heriblandt trisomi 21. Derimod kan analyser på moderkageprøve undersøge antallet af gener på *alle* kromosomerne.

Downs syndrom

Downs syndrom er en af de hyppigste enkeltstående årsager til nedsat intelligens hos børn. Siden 1930'erne har man været klar over, at syndromet måtte skyldtes en kromosomafvigelse, da man opdagede sammenhængen mellem ældre kvinder og en større risiko for at få et barn med Downs syndrom. Kvinder danner deres æg i æggestokkene allerede i fosterlivet. Hvis man først får børn som 35-årig, har æggene således ligget mange år, og der er derfor større risiko for, at der sker fejl i kønscelledannelsen, meiosen. Under den naturlige dannelse af æg- og sædceller i meiosen bliver 46 kromosomer til 23 kromosomer. Kromosom nr. 21 er det mindste

kromosom, og derfor kan de to kopier af nr. 21 nemmere "hoppe" over i den samme kønscelle. Fostre med trisomi 21 kan også bedre overleve fosterlivet end trisomier af de fleste andre kromosomer, hvor der som regel sker spontan abort. Både i meiosen og i det tidlige fosterliv kan der opstå kromosomfejl af mindre kromosomdele på alle kromosomer, som ikke nødvendigvis behøver at føre til spontan abort.

I sjældne tilfælde kan Downs syndrom være "arvelig", hvis en rask forælder bærer en forandring i sine kromosomer således, at der er større risiko for at få et barn med Downs syndrom. Uanset, hvordan et foster har fået det ekstra kromosom nr. 21, ved vi, at barnet vil fødes med Downs syndrom. Vi ved dog ikke ud fra den genetiske undersøgelse, hvordan Downs syndrom vil komme til udtryk hos barnet. Personer med Downs syndrom er nemlig vidt forskellige og har forskellige grader af udfordringer. Nogle har meget lav intelligens, nogle skal igennem hjerteoperationer, andre har mange infektions-

Analyse af cellefrit DNA i den gravides blod

NIPT, *Non-invasiv Prænatal Test*, er en test, som analyserer frit DNA i den gravides blod. Under moderkagens vækst nedbrydes nogle af moderkagens celler, og disse frigiver korte DNA-stykker, som siver over i kvindens blod. I kvindens blod er der også korte DNA-stykker fra hendes egne nedbrudte celler. Hvis man tager en blodprøve på kvinden efter graviditetsuge 12, kan man dermed opnå en blanding af fostrets og kvindens frie cirkulerende DNA. I laboratoriet centrifugeres blodprøven, hvorved blodet adskilles i dets bestanddele: plasma, hvide blodlegemer, blodplader og røde blodlegemer. Det frie, cirkulerende DNA fra både foster og den gravide kan oprenses fra plasmadelen.

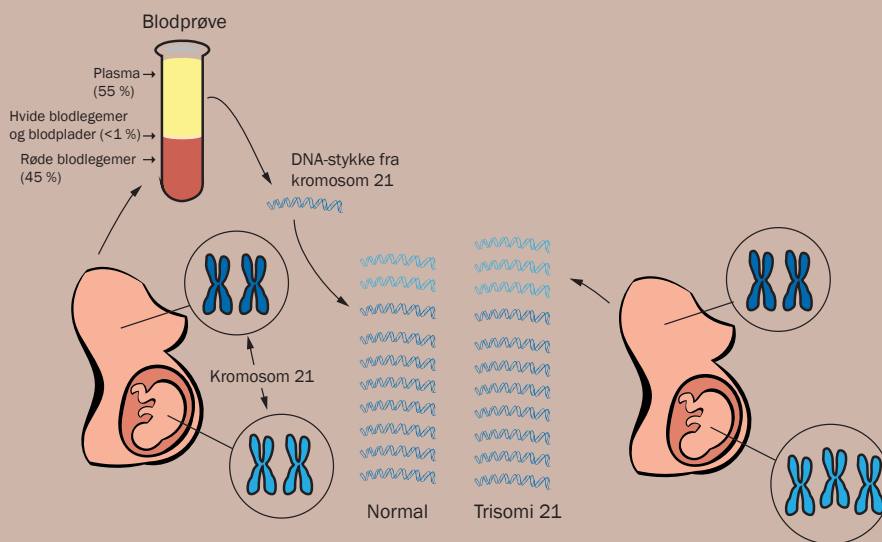
Når DNA'et er oprenset kan de mange millioner DNA-stykker fra begge individer sekventeres/ aflæses ved en meget hurtig proces kaldet Massive Parallel Sequencing/Next Generation Sequencing, NGS. Fraktionen af kromosom nr. 21 kan beregnes. Hvis prøven indeholder mere materiale fra kromosom 21 end ventet, så er der meget forøget sandsynlighed for, at et af de to individer har Downs syndrom – og hvis det ikke er kvinden, må det stamme fra fostret.

NIPT er ikke en diagnostisk test, men må ved et positivt svar følges op med en Kromosomal Mikroarray via en moderkageprøve. Fordelen ved NIPT er, at den er helt uden abortrisiko, og kun de få kvinder, der får et positivt NIPT-resultat, skal have lavet moderkageprøve. Testen har meget høj følsomhed for Downs syndrom og overser meget sjældent kromosomsygdommen.

Testens ulempe er, at den kun er udviklet til Downs (trisomi 21), Edwards (trisomi 18) og Patau (trisomi 13) syndromer og ikke de mange andre kromosomafvigelse, som Kromosomal

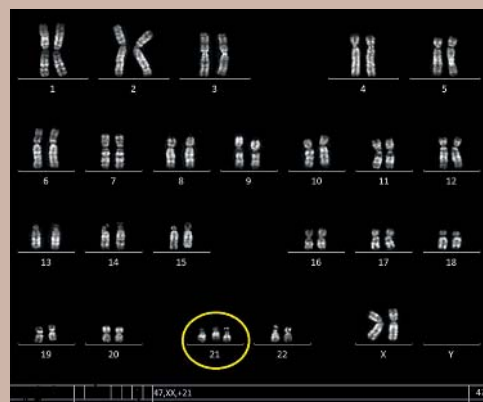


Der er mange trin fra en blodprøve til analyseresultat, som er manuelt arbejde. Et af bioanalytikernes vigtigste arbejdsredskaber er en pipette. Foto: Ida Charlotte Bay Lund



Ved sekventering (Massive Parallel Sequencing) af frit DNA i den gravides blod, tæller man DNA-stykker fra kromosom nr. 21. Man kan ikke se, om DNA-stykkerne stammer fra den gravide selv eller fra fosteret, men man ved, hvor stor en del af det cellefrie DNA, der normalt kommer fra fosteret (4-20 %). Ved at sammenligne antallet af DNA-stykkerne fra kromosom nr. 21 med antallet af DNA-stykker, som man normalt har set i prøver fra raske graviditeter, kan man påvise trisomi 21 i den enkelte prøve.

Mikroarray også kan finde. I USA og Kina er der dog firmaer, som har udviklet NIPT til detektion af en række bestemte syndromer, som skyldes tab af mindre kromosomdele. Denne form for NIPT tilbydes til gravide gennem private klinikker i Danmark, selvom den ikke er så følsom som NIPT til trisomi 21, 18 og 13. Andre firmaer forsker i analyse på hele moderkageceller i den gravides blod. I fremtiden vil vi formentlig se, at analyser af en blodprøve kan være ligeså følsomme som analyser på moderkage- eller fostervandsprøver.



Lysmikroskopisk billede af kromosomer ordnet i par, kaldet karyotype, fra et foster med trisomi 21. Cellerne er udtaget via en moderkageprøve og analyseret med standard kromosomundersøgelse.

episoder eller får leukæmi, og nogle har næsten ingen fysiske gener og en intelligens tæt ved det lave normalområde. I sjældne tilfælde, få procent, kan man have en blanding af normale celler med 46 kromosomer og celler med en ekstra kopi af kromosom nr. 21 – dette kalder man *Down-mosaik*. Afhængig af fordelingen af cellerne med 47 kromosomer i de forskellige organer kan man have et meget mildt udtryk af Downs syndrom. Personer med mosaik for trisomi 21 kan måske have de karakteristiske ansigtstræk, men have en næsten normal intelligens, hvis andelen af celler med 47 kromosomer ikke er til stede eller er meget lille i hjernevævet.

Mere end 100 andre kromosomfejl

I modsætning til Downs syndrom er risikoen for andre kromosomfejl, som også kan give det kommende barn alvorlige psykiske og fysiske udfordringer, uafhængig af kvindens alder. Vi ved også, at screening af alle gravide kan være med til at identificere de gravide,

som har en graviditet med høj risiko for de mere end hundrede andre kromosomfejl som fx 22q11-deletionssyndrom og Cri-du-chat syndrom.

Over 85 % af de genetiske undersøgelser, der bliver foretaget med såkaldt Kromosomal Mikroarray via moderkage- eller fostervandsprøver, hvor alle kromosomerne undersøges, viser et normalt svar. Et normalt genetisk svar kan være med til at give forældrene en vis tryghed. I tilfælde af, at ultralydsskanningen viser misdannelser, for eksempel en hjertefejl hos fosteret, som kan opereres med godt resultat, kan et normalt genetisk svar bidrage til, at forældrene vælger at fortsætte graviditeten, da risikoen for et syndrom med hjertefejl og nedsat intelligens er reduceret.

10-15 % af DNA-analyser med Kromosomal Mikroarray på moderkage- eller fostervandsceller ender med et abnormt svar, som kan forklare misdannelser opdaget ved ultralydsskanningen eller den

beregnete høje risiko for kromosomfejl hos fosteret. Endelig er der cirka 2 %, hvor svarene kan have en usikker betydning. Ved usikre fund vælger de fleste gravide at fortsætte graviditeten.

En mere og mere følsom "lup"

Når vi undersøger fosteret med lup opnår vi ny viden – viden, der i de fleste tilfælde enten giver tryghed eller forklaring. Luppen bliver mere og mere følsom i takt med, at metoder indenfor fosterdiagnostik og DNA-teknologi udvikles. I 2017 kan gravide i højrisiko-gruppen vælge imellem ingen undersøgelse, en test, der kun fortæller om de hyppigste kromosomfejl, eller en undersøgelse med høj følsomhed, der undersøger for alle kromosomafvigelser. Hvis den gravide vælger den sidstnævnte mulighed, kan hun på forhånd aftale med lægen, hvilke resultater hun ønsker at blive oplyst om. Den gravide har således ud fra den information, hun får af lægen, mulighed for at skruer på følsomheden af genetisk viden. ■

Videre læsning
Center for fosterdiagnostik: cffd.dk
Sjældne Diagnoser: sjaldnediagnoser.dk
Sundhedsstyrelsen: www.sst.dk/da/sundhed-og-livsstil/graviditet-og-foedsel/fosterdiagnostik

Anvendt matematik • Biomedicin • Kemi • Fysik • Matematik
Biokemi og molekylær biologi • Biologi • Datalogi • Farmaci



Bliv **STUDERENDE** for en dag
på de naturvidenskabelige uddannelser

Læs mere på sdu.dk/nat/studerendeforendag

SDU 
DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET

MINEAFFALD UNDER VAND

- den gode historie om
miljøskånsom deponering

Om forfatterne:



Anne Mette T. Simonsen er geograf fra Københavns Universitet. Artiklen udspringer af AMTS' speciale. am.tholstrup@gmail.com



Bo Elberling er professor i miljøbiokemi og leder grundforskningscenteret Center for Permafrost (Cenperm), Københavns Universitet. be@ign.ku.dk



Kristine B. Pedersen er forsker i metalforurening og oprensning ved Akvaplan-niva, Tromsø. kristine.pedersen@akvaplan.niva.no



Lis Bach er arktisk økotoxikolog og seniorrådgiver ved Bioscience, Aarhus Universitet. lb@bios.au.dk

En ny undersøgelse viser, at mineaffald fra en jernmine deponeret i en norsk fjord ikke har medført en nævneværdig forurening, fordi tungmetallerne er bundet hårdt til jern i affaldet. Det er ny og vigtig viden i relation til fremtidig minedrift i for eksempel Grønland.

Foto: Kristine B. Pedersen.

Vi tænker ikke over det til dagligt, men vores samfund er drevet og afhængig af råstoffer, som gemmer sig under jordens overflade. Råstofferne er nødvendige for de hjælpemidler, vi omgiver os med. Men mellem 20 og 90 % af den malm, der udvindes fra miner, ender som affald, og mineselskaberne er udfordret med at håndtere affaldet på en ansvarlig måde, uden at omkostningerne gør minedriften urentabel. Der er en reel bekymring for de konsekvenser, mineaffaldet kan have på naturen på grund af affaldets

forhøjede metalindhold. Der findes mange eksempler på betydelige negative effekter, når miljøet bliver udsat for høje metalniveauer. Et af de mest berygtede eksempler på utilsigtet forurening fra mineaffald findes ved Den Sorte Engel ved Maarmorilik i det nordvestlige Grønland. Mere end 30 år efter minen blev indstillet, kan man stadig spore rester fra deponeringen af de 8-9 millioner tons bly- og zink-affald, som både blev placeret over og under vand.

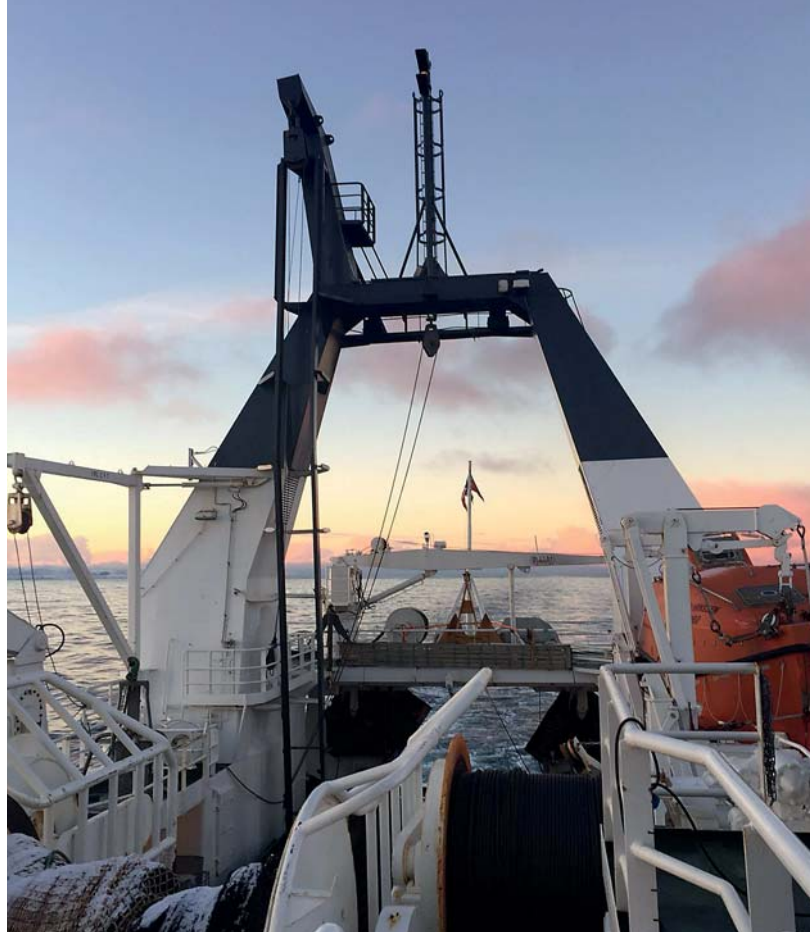
Præmissen for at deponere mineaffald under vand er forventningen

om, at der ikke forekommer omfattende spredning eller miljøeffekter ved deponering. Minevirksomhedens planer og forudsigelser for affaldshåndteringen skal godkendes af myndighederne, inden minevirksomheden kan starte sin operation. Alligevel kan det hænde, at uforudsete naturlige processer kan have en uheldig indvirkning på mineaffaldet.

Nye resultater har vist, at marin deponering af mineaffald ikke altid har konsekvenser for miljøet. Resultaterne blev opnået af et hold forskere, som i efteråret 2016



Stationer (1-7) i et transekt ud af Bøkfjorden brugt til sedimentprøvetagning. Mineaffald blev deponeret ca. 500 m nord for Kirkenes (rød stjerne)



Sedimentprøver blev indsamlet i Bøkfjorden ombord på forskningsfartøjet R/V Hjelm Hansen som tilhører Universitetet i Tromsø. Foto: Anne Mette Simonsen.

drog til Bøkfjorden i Nordnorge for at undersøge de miljømæssige konsekvenser af en jernmines deponering af mineaffald under vand i fjorden.

Mineaffald under vand

En af minedriftens største økonomiske og miljømæssige udfordringer er, som ovenfor beskrevet, håndteringen af det restmateriale, der er tilbage, når metallerne er udvundet af malmen. Der er flere gode argumenter for deponering af mineaffald under vand, som både kan foregå i opdæmmede vandreservoirer, søer, fjorde eller i havet. Under vand er der begrænset adgang til ilt, og frigivelsen af metaller er derfor reduceret. Derudover forventes det, at affaldet med tiden vil blive begravet i sedimentet på bunden, hvilket vil reducere mobiliseringen og spredningen af metaller.

Flere lande har i midlertidig i fælles aftaler (OSPAR) forsøgt at forebygge forurening fra marine deponier globalt ved at begrænse deponeringen til udelukkende inert

affald – altså affald, som er utilbøjeligt til at reagere kemisk. Det skyldes bekymring for ukontrolleret spredning af mineaffaldet, frigivelse af metaller grundet uforudsete strømforhold og andre marine processer samt ødelæggelse af havbundens naturlige habitater, som udsættes for enorme mængder af unaturligt tilført materiale.

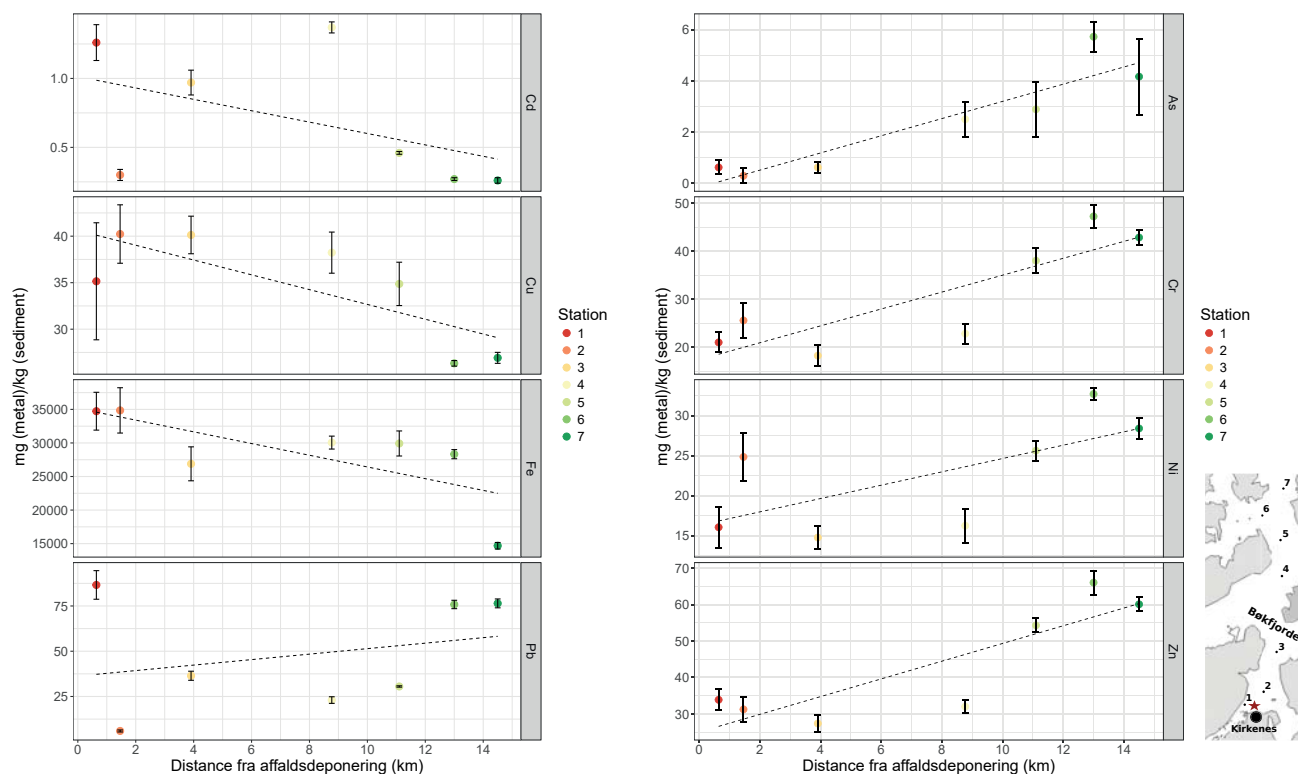
Norge benytter sig dog i stort omfang af deponering af mineaffald i fjordene. Det norske landskab byder på stejle klippesider og dybe fjorde med et udbredt fravær af søer og flade områder, hvor en kunstig dæmning ville kunne etableres. Disse forudsætninger gør marin deponering til det eneste reelle alternativ til deponering på land.

Miljøundersøgelser af Bøkfjorden

Den norske undergrund rummer en lang række ressourcer, som er blevet udnyttet siden 1500-tallet. Minedrift er et af Norges primære erhverv og omfatter blandt andet jern, titan og kobber. I Nordnorge

tæt på grænsen til Rusland ligger Kirkenes ud til den 23 km lange fjord, Bøkfjorden. Kirkenes lever af fiskeri, især kongekrabber, og fjorden er erklæret national laksefjord for at beskytte vildtlaksens overlevelse. Hovederhvervet i Kirkenes har været minedrift siden 1906, hvor jernminen Sydvaranger Gruve AS blev grundlagt. Minen drejede nøglen om i 1997 og blev efterfulgt af AS Sydvaranger Gruve fra 2009-2015. I de mere end 100 år er magnetit-bundet jernmalm udvundet fra underjordiske miner og åbne brud. Restproduktet efter udvinding af jern fra malmen er gennem tiden blevet deponeret i Bøkfjorden, som har modtaget mere end 70 millioner tons mineaffald. De norske myndigheder igangsatte den første afdækning af miljøeffekter i 1989 og har siden da givet løbende tilladelse til den omfattende deponering af mineaffald i fjorden.

For at undersøge miljøeffekterne af udledningen, efter minevirksomheden lukkede, blev der i november 2016 indsamlet sedimentkerner



Indholdet af tungmetaller i overfladesedimentet (0-5 cm) på de syv stationer i Bøkfjorden, hvor vi udtog prøver. På baggrund af den nedadgående koncentration af Cd, Cu, Fe og til dels Pb med distancen til deponeringsområdet (0 km) kunne man antage, at disse metaller er associeret med mineaffaldet i modsætning til As, Cr, Ni og Zn.

af overfladesedimenter fra spredte lokaliteter i fjorden med det formål at vurdere spredningen og belastningen af metaller i sedimentet.

Bøkfjorden huser en rigdom af marine organismer, som udgør grundlaget for et omfattende fiskeri. Det betyder, at det ikke kun er dyr, der kan optage metallerne, men også mennesker, som lever af alt godt fra havet. Organismer i fjorden kan optage metaller gennem vand, eller via den føde de indtager – som

for eksempel kan være knyttet til sedimentet på bunden af fjorden. De metaller, der ikke kan udskilles eller kun udskilles langsomt, ophobes i fødekæden i planter og dyr.

Metalholdigt mineaffald

Restproduktet fra oparbejdningen af malmen i Kirkenes er et finkornet materiale blandet med proceskemikalier fra separationsprocessen og havvand. Havvand tilsættes for at tynde restproduktet ned på bunden for at begrænse

spredningen i vandsøjlen. Mineaffaldet indeholder en del jern samt tungmetaller, som naturligt findes i malmen, men som det ikke er rentabelt at ekstrahere. Fjordmiljøet kan altså tilføres store mængder tungmetaller, når der udledes mineaffald i fjorden.

Resultaterne fra Bøkfjorden viser da også, at bundsedimenterne indeholder tungmetaller. Dog optræder de mest bekymrende og giftige metaller som arsen,

Tungmetaller i miljøet

Tungmetaller findes naturligt i jorden og frigives ved kemiske, fysiske og biologiske nedbrydningsprocesser. Metallerne er således en naturlig del af de terrestriske og akvatiske økosystemer, og det naturlige indhold af metaller i jorden varierer grundet geologiske variationer i udgangsmaterialet. Tungmetaller er grundstoffer tungere end jern (5 g/cm³). Nogle tungmetaller er essentielle for, at biokemiske og

fysiologiske processer kan fungere i levende organismer, hvorimod for høje koncentrationer af samme tungmetaller er sundhedsskadelige og økotoksiske. Andre metaller er til gengæld udelukkende toksiske for organismers biologiske funktion og kan derfor have sundheds- og miljømæssig skadelige effekter i selv små mængder. Hvad enten det er høje koncentrationer af essentielle eller mindre koncentrationer af

toksiske tungmetaller, kan metallerne ophobes i organismer, hvis de optager mere, end de har mulighed for at udskille (kaldet bioakkumulation). Globalt har man vedtaget, at tungmetaller med størst påvirkning på organismers funktionsdygtighed er arsen (As), cadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu), nikkel (Ni), bly (Pb) og zink (Zn). Alle disse tungmetaller blev udover jern (Fe) grundigt undersøgt i Bøkfjorden.

cadmium, krom, nikkel og zink ikke i mængder over de norske kvalitetskriterier. Overraskende nok viser resultaterne, at områder længst væk fra affaldsdeponiet indeholder højere koncentrationer af arsen, bly, krom, nikkel og zink end tættest på deponiet. Spørgsmålet er, om disse højere værdier kan tilskrives helt andre kilder end jernminen, om der naturligt eksisterer forhøjede metalkoncentrationer længere ude i Bøkfjorden, eller om mineaffaldet er spredt i så stor udstrækning. Til at belyse dette spørgsmål anvendte vi de høje koncentrationer af jern i sedimenterne, som var associeret med mineaffaldet, og brugte disse til at kortlægge mineaffaldets spredning i fjorden. Resultaterne viser, at det er overvejende sandsynligt, at fjordens naturlige strømningsforhold har ført mineaffaldet mindst 9 km væk fra deponiet og ud i Bøkfjordens midterste del.

Metallers bindingsform og tilgængelighed

Når miljøpåvirkning af metaller skal vurderes, er det ikke kun den totale koncentration, der er interessant, men derimod metallernes biologiske tilgængelighed, blot kaldet biotilgængelighed. Metallers biotilgængelighed afhænger af, i hvilken form metallerne findes og er stærkt styret af det omgivende miljø.

Naturligt forekommende metaller findes ofte i stabile kemiske forbindelser, som kan være svært optagelige for organismer, hvorefter metaller tilført fra menneskelige aktiviteter ofte forekommer i forbindelser, som er mere opløselige og dermed mere tilgængelige for organismer. Når metallerne tilføres det marine miljø, søger de at binde sig til de mest finkornede mineraler og kemiske forbindelser, som naturligt findes i vandet og i bundsedimenterne. De mineraler, som bedst binder metaller, er ler, karbonater, jern- og manganoxider, men også organiske stoffer og salte som sulfater kan binde metaller. De bundne metaller er



Børsteorme (*N. Virens*) brugt til forsøg med metaloptag i sediment fra Bøkfjorden og Roskilde fjord. Foto: Anne Mette Simonsen.

stabile, så længe det marine miljø forbliver uforstyrret. Hvis iltforhold, pH eller temperatur ændres i miljøet, kan metallerne frigives fra de forbindelser, de forekommer i, og blive tilgængelige for organismer. Det kan for eksempel ske ved kraftige storme eller skibstrafik, som roder i havbunden og får sedimenter op i vandet. Denne ophvirvling kan frigøre metaller fra porevandet ved tilførsel af ilt og kan samtidig frigøre metallerne fra sedimentet.

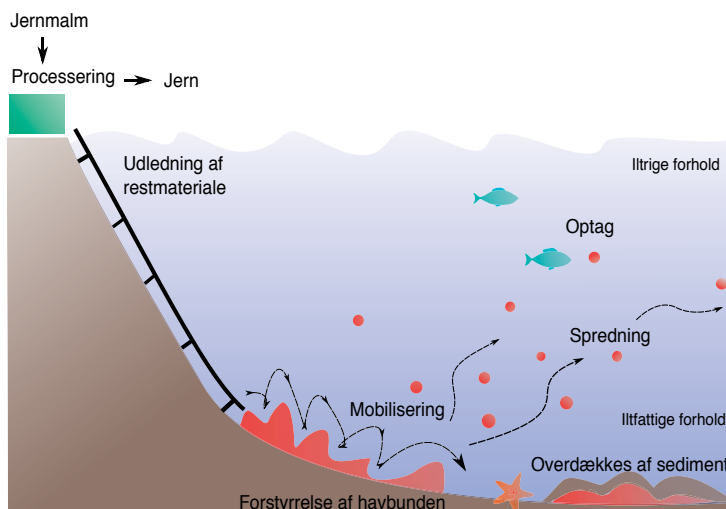
For at vurdere biotilgængeligheden af metaller udsatte vi børsteorme (*N. Virens*) fra Roskilde fjord for de indsamlede mineaffaldssedimenter fra Bøkfjorden i 4 uger. Derefter analyserede vi børsteormene for indhold af tungmetaller samt analyserede for metallernes biotilgængelighed i sedimentet. Som kontrol blev tilsvarende børsteorme eksponeret for sediment fra Roskilde fjord. På de mest metalbelastede stationer i Bøkfjorden fandt vi et markant metaloptag i børsteormene, som viser to overraskende resultater.

Vi havde forventet, at metaloptagelsen i børsteormene ville være bestemt af den biotilgængelige andel af metaller i sedimentet. Men det var ikke tilfældet. Det antyder, at koncentrationen af metaller i sedimentet ikke er det eneste, der afgør hvor meget børsteormene optager.

Samtidig viste forsøget, at børsteorme, som havde levet i kontrolforsøg med sediment fra Roskilde fjord, havde optaget mere arsen, cadmium, krom, kobber, nikkel, bly og zink end orme, der havde levet i sediment fra Bøkfjorden, til trods for at Bøkfjordens sediment var mere metalbelastet end det fra Roskilde fjord. Sedimentet fra Bøkfjorden havde imidlertid et væsentligt højere jernindhold end sedimentet fra Roskilde fjord, og det satte os på sporet af en mulig forklaring på børsteormenes tungmetaloptag.

Jerns rolle

Nærmere studier viser, at affaldssedimenterne i Bøkfjorden indeholder en del rester af jern, som ikke



Efter separeringen af jern fra malmen, udledes det overskydende materiale til bunden af Bøkfjorden. Mineaffaldets skæbne afhænger af de eksisterende forhold på fjordbunden.

Relevant litteratur og videre læsning
Dold, B., 2014: Submarine Tailings Disposal (STD) – A Review. Minerals 4: 642-666.

Elberling, B., Asmund, G., Kunzendorf, H., Krogstad, E. J., 2002: Geochemical trends in metal-contaminated fiord sediments near a former lead-zinc mine in West Greenland. Applied Geochemistry 17: 493-502.

Johansen, P., Asmund, G., Glahder, C. M., Aastrup, P., Secher, K. 2001: Minedrift og miljø i Grønland. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde, 38/2001.

Pedersen, K. B., Jensen, P., Sternal, B., Ottosen, L., Henning, M. V., Kudahl, M. M., Juntilla, J., Skirbekk, K., Frantzen, M., 2017: Long term dispersion and availability of metals from submarine mine tailings disposal in a fjord in Arctic Norway. Environ Sci Pollut Res: 1-12.

Søndergaard, J., Asmund, G., Johansen, P., Rigét, F., 2011: Long-term response of an arctic fiord system to lead-zinc mining and submarine disposal of mine waste (Maarmorilik, West Greenland). Marine Environmental Research 71: 331-341.

er blevet fjernet inden deponering. Jern er kendt for under iltede forhold at danne jernoxider, som binder tungmetaller hårdt i restproduktet fra malmen og derved begrænser den biologiske tilgængelighed af metallerne. Jernoxiders binding af metaller er en naturlig kemisk proces, som i dag er under udvikling til brug i industrien. Her manipulerer man den kemiske proces til for eksempel at stabilisere tungmetallforurenet flyveaske fra

affaldsforbrænding ved tilsætning af jernoxider.

De kemiske forhold i malmen har ligeledes bundet metallerne hårdt til sedimentet og medført et mindre optag af metaller i børsteorme- ne end forventet. Bøkfjorden står derved som et glimrende eksempel på, hvor central en rolle biotilgængeligheden spiller, når man skal vurdere mulige effekter af marin deponering.

Bedre affaldshåndtering

I Grønland er der ikke anvendt marin deponering af mineaffald, siden Den Sorte Engel var i drift. Derimod er affaldet blevet deponeret i udtømte minegange, som det skete ved guldminen Nalunaq ved Nanortalik, eller i søer, som det nu sker ved rubinminen ved Fiskerøsset.

Resultaterne fra Bøkfjorden kan bidrage med ny viden til udviklingen af nye teknologier for affaldshåndtering. Jerns evne til at binde metaller kan være et lovende udgangspunkt for teknologi til at stabilisere metallerne i affaldet, inden det deponeres i havet. At deponere mineaffald i havet kan ikke undgå at have fysiske effekter på havbunden i deponiet, men så længe, man sikrer, at affaldet er "inaktivt", kan marin deponering være et muligt alternativ til deponering på land.

Minevirksomheder er pålagt krav om miljøbeskyttelse i affaldshåndteringen, som både omhandler omhyggelig processering og rensning af malmen samt deponering af det bearbejdede restprodukt. Processer, som kan være yderst ressourcekrævende både hvad angår tid og økonomi. En forbedring af affaldsteknologien, som mindsker konsekvenserne for det marine miljø og er økonomisk rentabel, vil derfor gavne den fremtidige udvikling af minedrift.

Marin deponering af mineaffald – for og imod:

Fordele:

Undgår spredning af metalholdigt støv fra landdeponier
Iltfattige forhold nedsætter frigivelsen af metaller
Mineaffald begraves med tiden under sedimentet på havbunden
Undgår katastrofale dæmningskollaps

Ulemper:

Frigivelse af metaller fra mineaffald ved tilførsel af ilt
Spredning af mineaffald i vandet
Forstyrrelse og ødelæggelse af det marine økosystem
Ophobning af metaller i marine dyr og planter
Hvis uheld sker, er skaden uoprettelig

Tværvidenskabelig tilgang:

Undersøgelserne blev udført af det norske Environmental Waste Management –projekt (EWMA) finansieret af det norske forskningsråd og ENI med det formål at undersøge de afledte miljøeffekter af mineaffald i Norge. Projektet var et bredt arbejde mellem en lang række norske og internationale aktører, herunder Akvaplan-niva AS, Københavns Universitet og Universitetet i Tromsø her med særlig hjælp fra Institut for Geovidenskab, som muliggjorde feltarbejdet. Resultaterne omtalt her knytter sig primært til Anne Mette Simonsens speciale ved Københavns Universitet, som viser styrken mellem privat og offentlig forskning og uddannelse.



INSPIRATIONSDAG FOR GYMNASIELÆRERE

Er du underviser i naturvidenskab eller matematik på de gymnasiale uddannelser? Så inviterer Københavns Universitet dig til gratis inspirationsdag d. 2. februar 2018.

På inspirationsdagen kan du opleve spændende foredrag, som kan inspirere dig i din egen undervisning.

Du kan blive klogere på aktuelle emner som overgangen fra gymnasium til universitet, etnobotanik og det absolut sidste nye inden for udviklingen af kvantecomputere. Desuden vil

universitetets forskere fortælle om brugen af mobiltelefoner i bekæmpelsen af ulovlig skovhugst i Cambodia, og om hvordan matematik bruges til at fastsætte pensioner.

Inspirationsdagen finder sted d. 2. februar 2018. Deltagelse er gratis, og tilmelding sker efter først til mølle-princippet.

Tilmeld dig og læs mere om dagens program på
inspirationsdag.ku.dk

KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET



BOG

Mit liv med bondelandets natur

Anmeldt af Carsten R. Kjaer, *Aktuel Naturvidenskab*

Lad mig for en ordens skyld starte denne anmeldelse af *Mit liv med bondelandets natur* med at deklarere, at jeg kender forfatteren, Kaj Sand-Jensen, ganske godt via mit arbejde med *Aktuel Naturvidenskab*. Så er det op til læseren at dømme, hvorvidt anmeldelsen bærer for meget præg af kammerateri.

Kort fortalt er Sand-Jensens en erindringsbog, hvor han fortæller om sit liv med naturen – både som engageret privatperson og som professionel forsker. Og her er en af pointerne, at de to ting ikke rigtig kan skilles ad. For det er glæden og nysgerrigheden ved naturen – og bekymringen for dens ve og vel – der fra barnsben har været den drivende kraft for forfatteren, og som i første omgang gjorde biologistudiet til førstevalget fremfor det karrieremæssigt mere "sikre" ingeniørstudium. Den dybfølte glæde ved naturen, som drev Sand-Jensen ind på biologistudiet, kendetegner formentlig de fleste, der ender med en naturforskerkarriere. Og måske er det derfor, at de af deres opponenter i debatter om for eksempel landbrugspakken kan blive beskyldt for at politisere. For når forskerne blander sig i debatten fornemmer man det personlige engagement – og kan man nu holde balancen, når man går på barrikaderne for sin elskede?

Svær at sætte i bås

Hvis man vil blive klogere på det, er *Mit liv med bondelandets natur* et godt sted at starte. For i bogen får man et indblik i, hvad forfatteren rent fagligt har at have sine meninger i. Det er nemlig ikke en bog, der kun skøjter hen over "konklusionerne" fra den lange forskerkarriere. Nej, læseren bliver både inddraget i

den videnskabshistoriske baggrund samt overvejelserne om en række af de spørgsmål, som forfatteren har kastet sig over gennem tiden. Man bliver også taget med på feltarbejde i ind- og udland, hvor man får indblik i metoder og udstyr gennem tiden. Og de sammenhænge om for eksempel CO₂-transport i tvepibet lobelia fra næringsfattige, danske søer eller spredning af havgræsser i Middelhavet, som de beskrevne undersøgelser har været med til at afdække, bliver selvfølgelig også grundigt forklaret. Det hele krydres med talrige personlige anekdoter fra studietiden og forskningsprojekterne og med afsnit, hvor forfatteren siger sin ærlige mening om for eksempel udviklingstendenserne inden for universitetsmiljøerne (både fagligt og politisk) og politikeres forhold til forskere.

På den måde lader *Mit liv med bondelandets natur* sig ikke så let kategorisere. Det er på en gang en personlig erindringsbog, en forsknings- og naturformidlingsbog samt en debatbog. Og denne bredde kan siges både at være bogens styrke og svaghed. For denne anmelder, som kender til en god del af forfatterens produktion i forvejen, tjener de mange afstikkere som et fornøjeligt krydderi. Men jeg kan også godt forstå, hvis læsere, der ikke har de samme forudsætninger, kan blive forvirret over, hvad forfatteren egentlig vil. Jeg læste således en anmeldelse af bogen i sommers i *Politiken*, hvor Søren Ryge Petersen øjensynligt var noget mindre begejstret for bogen end jeg selv. Kort sagt efterlyste han, at det bærende element i bogen burde være de gode naturhistorier, og han anså de øvrige elementer i bogen som forstyrrende.

FAKTA

Kaj Sand-Jensen: *Mit liv med*

*liv med
bonde-
landets
natur.*
Gylden-
dal 2017.
288 sider,
249,95 kr.



Jeg kan sagtens forstå Søren Ryges kritik på de præmisser, han stiller op. Så min konklusion er, at hvis man skal have fuldt udbytte af denne bog, skal man være interesseret i, hvordan forskning foregår som en proces samt de overvejelser, der knytter sig dertil. Dermed bliver målgruppen for bogen primært folk, som selv har en faglig baggrund eller som er mere end almindeligt interesseret i naturdebatten. Og det er selvom Kaj Sand-Jensen både skriver klart, underholdende og til tider poetisk, så formidlingen sagtens kan bære et større publikum.

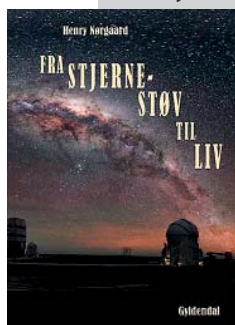
Værdifuld indsats

Men for os, der er interesserede i, hvordan forskning bedrives, er der meget guf i denne bog. Jeg synes det er meget værdifuldt, når forskere gør sig den ulejlighed at forsøge at sammenfatte indtrykkene fra en mangeårig karriere. I dette tilfælde kan det bidrage til at forstå, hvad der er op og ned i naturdebatten, for uden en historisk forståelse af udviklingen er vi lidt på herrens mark. Og her virker det altså mere overbevisende, når forklaringerne på, hvad vi egentlig ved og stadig mangler at forstå om en række sammenhænge i naturen, kommer fra en, der i mange år selv har bidraget til at besvare spørgsmålene. ■

SERVICE

FAKTA

Henry Nørgaard:
Fra stjernestøv til liv.



Gylden-
dal 2017.
320 sider,
299,95
kr.

FAKTA

Jørn Madsen og
Anders Schmidt: *Alt
er relativt – eller er det*



nu også
det. 2.
udgave.
Gylden-
dal 2017.
412 sider,
199,95
kr.

FAKTA

Kjeld Hansen: *Det
store svigt. Gads*



forlag
2017.
464
sider,
399,95
kr.

Fra stjernestøv til liv

I denne bog beskriver forfatteren og astrofysikeren Henry Nørgaard klodens og menneskets oprindelse, fra de allerførste brint- og heliumatomer blev frigivet ved Big Bang over dannelsen af de øvrige grundstoffer til i dag, hvor vi med forundring stirrer op mod stjernehimlen og tænker: "Hvor ender universet?"

Selv den forudsætningsløse læser kan her komme med astrofysikeren på et strejftog gennem grundstoffernes skabelsesberetning og blive indført i argumenterne for, at der kan være liv som vores andre steder i rummet.

Alt er relativt – eller er det nu også det?

I de snart 10 år, der er gået siden første udgave af denne bog udkom, er der publiceret omtrent lige så mange videnskabelige artikler som i hele det 20. århundrede. Spørgsmålet er, om vi er blevet dobbelt så kloge? Denne andenudgave af bogen, hvor biologen Jørn Madsen og fysikeren Anders Schmidt kaster et blik på den moderne naturvidenskabs mange emnefelter, er opdateret med den nyeste viden, og i en efterskrift stiller forfatterne skarpt på tidens vigtigste videnskabelige opdagelser, udviklinger og tendenser.

Det store svigt

Er vi ikke blandt de rigeste nationer på kloden, og har vi ikke verdens bedste naturfredningslov? Hvordan gik det så til, at det yndige land alligevel endte med en natur, der er blandt de ringeste i Europa? I 100-året for den første naturfredningslov stiller Kjeld Hansen skarpt på naturfredningens styrke og svage sider.

Bogen afslører, hvordan millioner af kroner er spildt på nyttesløse fredninger som for eksempel i Tøndermarsken, Varde Ådal, Rold Vesterskov og Værnengene i Vestjylland. I dag har naturen det værre, end før de kostbare fredninger blev gennemført. Samme billede tegner sig for en meget stor andel af de naturfredninger, som forfatteren har undersøgt. Blandt årsagerne til det enorme pengespild og naturtab peger han på fredningsnævnenes inkompetence, politikernes upålidelighed og myndighedernes svigtende kontrol. Kun takket være EU's skrappe naturdirektiver er det ikke gået endnu værre.

FAKTA

Mats Ottoson, Bill
Zetterström og Dan



Zetter-
ström:
*Fuglekalen-
der 2018.*
Gyldendal
2018.
160 sider,
169,95 kr.

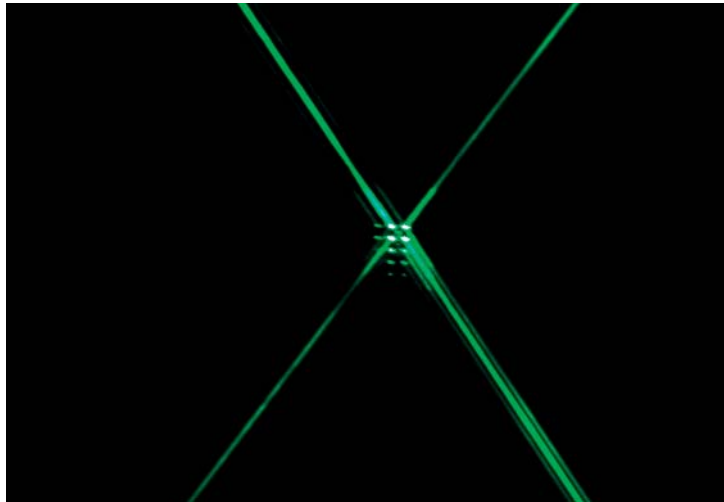
Fuglekalender 2018

De fugleinteresserede har nu for fjerde år i træk mulighed for at udskifte deres almindelige, kedelige papirkalender med en Fuglekalender fra Gyldendal, hvor årets kalendergang krydres med illustrationer og tekster om fugle. Denne gang er der også listet et par sommerfugle og nogle pattedyr ind.

SUPERLYS

Fænomenet superledning opstår i visse materialer ved at elektroner danner såkaldte "Cooper-par", der stabiliserer hinandens bane, så de kan bevæge sig gennem materialet helt uden modstand. Opdagelsen af superledning har for eksempel udmøntet sig i udviklingen af superledende kabler og magneter. Nu har brasilianske fysikere observeret, at lyspartikler – fotoner – tilsyneladende kan danne par i lighed med Cooper-par. Processen sker ved stuetemperatur, når lys passerer gennem forskellige gennemsigtige væsker, inklusive vand, om end det er meget svært at observere. Ud af 10 kvadrillioner (en kvadrillion er $= 10^{24}$) fotoner pumpet gennem materialet per sekund, så forskerne 10 af disse fotonpar.

I hvor høj grad parallellen til Cooper-par i elektronernes verden er relevant, mangler endnu at blive



Lysfotoner kan danne par, når de bevæger sig gennem et materiale – ligesom elektroner i en superleder. Foto: Colourbox.

udforsket til bunds. Men da fotoner vekselvirker mindre med deres omgivelser end elektroner, er det næppe sandsynligt, at fotonernes udgave af Cooper-par vil føre til lige så dramatiske effekter, som man ser i materialer, der kan lede

elektrisk strøm uden modstand. Den nye opdagelse har stimuleret spekulationer om, hvordan "superstrømme" af lys opfører sig, og hvordan de kan udnyttes.

CRK, Kilde: Nature 550, 438–439

Naturvidenskab på Roskilde Universitet



Oplev og forstå naturvidenskab

Få besøg af studerende fra RUC. Et tilbud til gymnasier, HF og HTX på Sjælland
Læs mere på ruc.dk/tilbud-til-gymnasier-pa-institut-naturvidenskab-og-miljo

Tilbud til dit gymnasium

Vælg imellem tre pakkestørrelser:

Gymnasieabonnement:

Antal blade i pakken:	10	20	40	60	eksemplarer
Pris eksklusiv moms:	450	475	725	975	kr.

(omfatter 6 numre/udgivelser pr. år.)

Den lave pris er mulig i en periode* som led et projekt, som VILLUM FONDEN støtter.

Nye undervisningsmaterialer

På hjemmesiden aktuelnaturvidenskab.dk finder du også undervisningsmaterialer.

Undervisningsforløb om fødselsdagsbullen

I Aktuel Naturvidenskab nr. 3/2017 kastede biostatistikeren Claus Thorn Ekstrøm et kritisk blik på fødselsdagsfordelingen hos herrelandsholdet i fodbold gennem tiden for at se, om man kan finde en overrepræsentation af spillere født i årets første måneder.

Nu kan du finde undervisningsmateriale med udgangspunkt i denne artikel. Materialet kan indgå i forløb om χ^2 -test og Goodness of Fit, og det omfatter også et regneark til simulering af Kolmogorov-Smirnov-fordelingen.

Målgruppe er matematik på A og B-niveau. Kan bruges som SRP-emne i samarbejde med Idræt. Materialet er udarbejdet af Peter Arnborg Videsen og Henry Berthelsen, Viborg Gymnasium og HF.

Nye quizzer

Hvad er mellemkødet for noget?

A: En særlig lækker udskæring på en okse.

B: En betegnelse for det væv, der ligger mellem muskelcellerne og huden.

C: Området mellem anus og kønsorganerne.

Kan du svare på dette spørgsmål? Så er du klar til at svare på de 6 andre spørgsmål i den nye quiz om hormonforstyrrende stoffer. Find denne quiz sammen med en masse andre på hjemmesiden.

Materiale og quiz-app er lavet som led i projektet Aktuel Naturvidenskab i gymnasiet finansieret af VILLUM FONDEN.



ABONNEMENTS-SERVICE

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

Kontakt os på telefon: 87 15 20 94
E-mail: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

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

Tilbud:

Bestil en intropakke med otte helt nye numre plus abonnement i et år (6 numre) for kun 354,- kr. inkl. porto & ekspedition.

OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

Styregruppe

- Birgitte Lyhne, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Jens D. Holbech, chefkonsulent, Science and Technology, Aarhus Universitet
- Mads Bendix Fjendsbo, rektor, Viborg Gymnasium og HF
- Mette Christina Møller Andersen, specialkonsulent, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Niels Kring, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Sanne Holm Nielsen, kommunikationsmedarbejder, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet

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

Layout: Jørgen Dahlgaard
Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S
ISSN: 1399-2309 (papirudgaven),
1602-3544 (web)
Oplag: 6.200



Redaktionsgruppe

- Birgitte Dalgaard, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Birgitte Svennevig, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Carsten Rabæk Kjaer, Aktuel Naturvidenskab
- Jørgen Dahlgaard, Aktuel Naturvidenskab
- Lene Pedersen, Roskilde Universitet
- Peter Arnborg Videsen, Viborg Gymnasium og HF
- Sanne Holm Nielsen, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- Svend Thaning, Københavns Universitet

Redaktionen: Tlf.: 87 15 20 94

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Facebook.com/aktuelnaturvidenskab

Postadresse: Aktuel Naturvidenskab,
Ny Munkegade 120, Bygning 1520, 8000 Aarhus C

Omslagsfoto:

Neodymmagneter (her som små kugler) er de stærkeste permanente magneter på markedet.

Foto: Shutterstock.

Græskartælleren

Af Birgitte Dalgaard, SDU, bird@tek.sdu.dk og Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Det har næppe undgået læserens opmærksomhed, at den amerikanske tradition med halloween har bidt sig fast i Danmark. Fra år til år har græskarhovederne bredt sig foran de danske hjem i en grad, så man ikke længere lammes af forbløffelse over at blive hjemsøgt af udklædte børn den 31. oktober, der kræver slik til gengæld for at undlade at lave ballade.

Den danske halloween-begejstring har øget efterspørgslen på græskar. Mange af de mere eller mindre kunstfærdigt udsmykkede græskarhoveder foran de danske hoveddøre stammer fra Gyldensteen Gods på Nordfyn, for godsejer Frants Bernstorff-Gyldensteen er nemlig en af Nordeuropas største græskaravlere. Botanisk set er græskar et bærr, og når man har med bærr at gøre, der er så store som fodbolde, skulle man ikke tro, at det var den store udfordring at holde styr på, hvor mange, man har på sin mark. Når antallet skal tælles i hundrede tusinder, er det dog slet ikke så enkelt. Og den udfordring har betydet, at Frants Bernstorff-Gyldensteen har oplevet, at mange græskar hvert år er gået til spilde. For når han indgår en kontrakt med en engrosvirksomhed og dermed forpligter sig til at levere et antal græskar, har han været nødt til at sætte tallet lavt for at være sikker på at kunne levere, hvad han har lovet. Hvert år har han derfor stået tilbage med mange græskar, som i stedet for at pryde fortrappen ved Halloween endte sine dage under ploven.

Lyntælling i computeren

Men i år har der været meget bedre styr på græskartællingen. Det skyldes, at godseje-



Hvor mange græskar er der lige på marken? Den tælleopgave klarer en drone og et stykke software lynhurtigt. Foto: Colourbox

ren har fået hjælp af Adjunkt Henrik Skov Midtby fra SDU Dronecenter. Den opgave har Henrik klaret ved at sende en drone henover markerne og tage oversigtbilleder, som efterfølgende er blevet analyseret med software til billedanalyse.

»Det tager computeren 10 minutter at tælle 100.000 græskar. Jeg beder computeren om at finde orange klatter på billedet. Dernæst ser jeg på omkredsen af de orange klatter. Hvis omkredsen er mere end 47

pixels, svarende til 110 cm, antager jeg, at der er to græskar i pletten,« forklarer Henrik Skov Midtby.

Efter at billederne var analyseret på denne måde, kunne Henrik sende godsejeren et billede over de mange hektar land med græskar. Billedet var inddelt i kvadrater på 30 x 50 meter, hvor antallet af græskar i hvert kvadrat sirligt stod noteret. Samlet var der cirka 400.000 græskar.

Fra græskar til grantræer?

Arbejdet med græskartællingen har gjort Henrik Skov Midtby til lidt af en græskarekspert. Blandt andet har han fundet ud af, at græskarrene først kan tælles, når plantens blade er visnet. Ellers kan computeren ikke genkende de orange klatter.

»Vi har nu en fejlprocent på 1-1,5. Det ved jeg, fordi jeg inden for et afgrænset område har talt efter og sammenlignet med computerens resultat. Nu er udfordringen, hvor tidligt vi kan tælle, for landmanden vil gerne have informationen så tidligt på sæsonen som muligt,« siger Henrik Midtby.

Han fortæller, at det varierer en del fra mark til mark, hvor tidligt man kan tælle, men at det tre uger før høst er muligt at komme med et godt bud.

Det næste oplagte skridt for Henrik Midtby og kolleger er at udvikle softwaren, så den bliver let at bruge for landmanden – og så den kan bruges til at tælle andre afgrøder som kål eller grantræer. ■