

Aktuel NATURVIDENSKAB

2 | MAJ | 2016

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00

Skovengen blomstrer

Grødeskæring og vandstand i danske vandløb

På sporet af det mørke stof

Omvendt fotosyntese

Balladen om p-værdier

Såkaldte p-værdier bruges flittigt når der testes videnskabelige hypoteser, selvom man i mere end 100 år har vidst, at de ikke kan stå alene.

Forfatterne



Claus Thorn Ekstrøm
professor ved
sektion for biostatistik,
Københavns Universitet
samt formand for Dansk
selskab for teoretisk statistik.
ekstrom@sund.ku.dk



Per Bruun Brockhoff
professor ved Sektion for
Statistik og Dataanalyse,
DTU Compute
perbb@dtu.dk

Læs mere:

ASA's pressemeddelelse om
p-værdier: [www.amstat.org/
newsroom/pressreleases/
P-ValueStatement.pdf](http://www.amstat.org/newsroom/pressreleases/P-ValueStatement.pdf)

Se også www.sandsynligvis.dk

Nyhedsbreve og de sociale medier gik i selvsving efter the American Statistical Association (ASA) i marts 2016 udsendte en pressemeddelelse omkring brugen og ikke mindst fortolkningen af såkaldte p-værdier. Pressemeddelelsen var ansporet af en videnskabelig (og til tider ret filosofisk) debat om p-værdier, der var blusset op igen, efter at redaktørerne for tidsskriftet *Basic and Applied Social Psychology* i 2015 offentliggjorde, at de ikke længere ville acceptere artikler, der gjorde brug af p-værdier. Hvordan er vi så endt der, at verdens største statistikersammenlutning følger anledning til at understrege, hvad begreberne betyder og ikke betyder her mere end 100 år siden disse begreber blev introduceret?

Intet nyt under solen

ASA's udtalelse indeholder intet nyt eller kontroversielt. Faldgruberne ved p-værdier er velkendte, og statistikere har gjort opmærksom på disse, siden begrebet oprindeligt blev introduceret. Men problemerne er blevet forstærket, fordi p-værdi-begrebet på trods af statistikernes forbehold er kommet til at spille en uforholdsmæssig stor rolle.

En p-værdi udtrykker, hvor godt de observerede data stemmer overens med en statistisk model eller hypotese, og værdien afhænger af de antagelser, man har gjort sig omkring sin model og hypotese.

I videnskabelig forskning vil man ofte gerne vurdere, om en påstand eller hypotese er korrekt eller ej. Med

andre ord vil man – på baggrund af sine data – gerne sige noget om sin forskningshypotese. Det er altså den "omvendte" sammenhæng mellem data og hypotese, og en klassisk misforståelse er, at man kan bruge p-værdien alene til at udtrykke, hvorvidt forskningshypotesen er sand eller ej på baggrund af de observerede data. En bedre fortolkning er, at p-værdien udtrykker "graden af evidens imod hypotesen", og kun under særlig gunstige omstændigheder kan man tilnærmelsesvist fortolke p-værdien som antydet.

Et andet ankepunkt ved p-værdien er, at den afhænger kraftigt af stikprøvestørrelsen. I små datasæt kan det være svært at opnå små p-værdier, selvom forskellen mellem to grupper er stor. Omvendt falder p-værdien automatisk, så selv de mindste forskelle bliver statistisk signifikante, når stikprøvens størrelse vokser. P-værdien siger i sig selv altså ikke noget om, hvorvidt det fundne resultat er biologisk relevant, eller om man har overset noget, som var biologisk interessant.

Mest problematisk er det, at p-værdien har fået så stor betydning for publicering af videnskabelige resultater. Mange tidsskrifter er mere tilbøjelige til at frasortere artikler, der ikke viser resultater med en lille p-værdi (typisk under den arbitrære grænse på 5%). Det betyder, at p-værdiens rolle bliver forstærket, selvom værdien ikke burde stå alene.

Debatten er vigtig – også i gymnasiet

P-værdier er nyttige, men pressemeddelelsen fra ASA er en god anledning til at minde os alle om, hvordan de skal fortolkes, og at man ikke skal basere sin konklusion udelukkende på en p-værdi. Faktisk er der også statistikere som Geoff Cummings, der i en årrække har gjort en dyd ud af at forsøge at ændre holdningen til vurdering af statistiske analyser ved at opfordre til i langt højere grad at fokusere på usikkerheder og konfidensintervaller end på hypotesetest og p-værdier. Samtidig bør man altid så vidt muligt forsøge at se sine forskningsresultater i et større perspektiv end det enkelte studie, der har frembragt disse data. Det er kun fint, hvis ASA's bidrag kan hjælpe til debatten og til at få spredt budskabet om dette.

Herhjemme kunne vi fx kigge på gymnasiernes pensum, hvor statistik er obligatorisk pensum for stx og hhx gymnasieelever med matematik på mindst B-niveau. Ud over deskriptiv statistik er hypotesetest og p-værdier pensum, mens fx konfidensintervaller/fejlestimering ikke nævnes med et ord. Det burde man lave om på! ■

Hvad er en p-værdi?

For en given statistisk model eller hypotese angiver p-værdien sandsynligheden for at observere et datasæt, der passer "dårligere" med modellen/hypotesen end det oprindeligt observerede datasæt. Hvis man fx vil undersøge gennemsnitsvægten i to grupper – hvor den ene gruppe er på slankekur og den anden ikke – så kunne hypotesen være, at kuren ikke virkede, og at gennemsnitsvægten i de to grupper derfor skulle være ens. Finder man en forskel i de to gruppers gennemsnit på fx 6 kg, så vil p-værdien udtrykke sandsynligheden for at finde en forskel i de to gruppers gennemsnit på mindst 6 kg, beregnet under scenariet, at kuren ikke virker. Eller hvis man lader det usandsynlige i et få fx 15 plat ud af 15 møntkast overbevise en om at mønten er en "snydemønt", så har man faktisk tænkt i og anvendt en p-værdi – 15 ens udfald er nemlig særdeles usandsynligt, hvis mønten er fair.



Grødeskæring og vandstand i danske vandløb 8

At skære planterne i vore vandløb anses for at være en effektiv metode til at sikre, at vandløbene kan lede vandet væk fra markerne. En undersøgelse af effekterne af grødeskæring i 126 danske vandløb viser dog, at metoden har sine begrænsninger.



På sporet af det mørke stof 26

Det er mere end 80 år siden, at fysikere indså, at der er meget mere masse i Universet, end man umiddelbart kan se. Endnu har vi ikke afsløret, hvad dette "mørke stof" er for noget, men en eksperimentel påvisning af det ligger måske ikke langt ude i fremtiden.

Indhold 2/16

FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
Grødeskæring og vandstand i danske vandløb	8
Kulde og tungmetaller - en farlig cocktail i Arktis	13
Bortopereret hud hjælper forskerne	18
Skovengen blomstrer.....	20
På sporet af det mørke stof.....	26
Omvendt fotosyntese.....	32
Effektive algoritmer, tilfældighed og hashfunktioner ..	35

PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: Balladen om p-værdier	2
Uranbjerget.....	38
Service	42
Aktuel Naturvidenskab i gymnasiet	43
Bagsiden: Middelalderrådgivning	44



Omvendt fotosyntese

32

Forskere fra Københavns Universitet har opdaget en proces, der kan beskrives som omvendt fotosyntese. Denne opdagelse har store perspektiver, fx i forhold til fremstilling af biobrændstoffer ud fra plantemateriale på en langt mere effektiv og miljøvenlig måde end hidtil.

Liposomer kan ikke trænge ind i huden

Liposomer er små hule kugler af fedtstoffer, som dannes ved selvorganisering i vand. Især skønhedsindustrien har udråbt liposomer som det store vidundermiddel, der skulle være i stand til at transportere foryngende og plejende stoffer dybt ned i huden, men også lægemiddelforskere har haft store forhåbninger til dem: For hvis de kan transportere plejende stoffer gennem huden, så kan de også fragte medicinske stoffer ind i kroppen, og det ville kunne revolutionere mange behandlingsformer.

Men nu viser et nyt studie af postdoc Jes Dreier og lektor Jonathan Brewer fra Institut for Biokemi og Molekylær Biologi, SDU og Jens A. Sørensen fra Odense Universitetshospital, at liposomer ikke kan trænge gennem hudens barriere uden at gå i stykker. Studiet er offentliggjort i tidsskriftet *Plos One*.

Studiet følger i kølvandet på et tidligere studie fra 2013, hvor forskergruppen viste, at liposomer taber deres last af virksomme stoffer, når de møder hudens overflade. I det nye studie har forskerne brugt en ny metode og en gang for alle slået fast, at intakte liposomer ikke kan krydse hudens overflade. Derfor må man revidere den opfattelse, der er udbredt især indenfor hudplejebranchen, at liposomer er beskyttende kugler, der transporterer stoffer hen over hudbarrieren.

Forskergruppen er de første i verden, der har brugt et særligt supermikroskop, et såkaldt nanoskop, til at studere huden. Med metoden er det muligt direkte at se enkelte molekyler og liposomer. Man kan studere den aktivitet og de processer, der foregår på molekylært niveau,



Jonathan Brewer ved nanoskop.

Foto: SDU

og det giver en værdifuld indsigt i, hvordan celler fungerer.

Studierne har afsløret, at liposomer ikke kan fragte aktive stoffer ind i huden. Men når liposomerne rammer huden og går i stykker, er det ikke sikkert, at de aktive stoffer går til spilde, mener forskerne. Det kan tænkes, at der går en kemisk reaktion i gang, som på anden vis hjælper stofferne gennem hudbarrieren. Så på en måde kan man godt sige, at liposomer måske virker – men hvis det er tilfældet, så er det på en anden måde end vi normalt får fortalt. SDU-forskerne opfordrer derfor til, at forskningen retter sit fokus mod denne mulige kemiske reaktion.

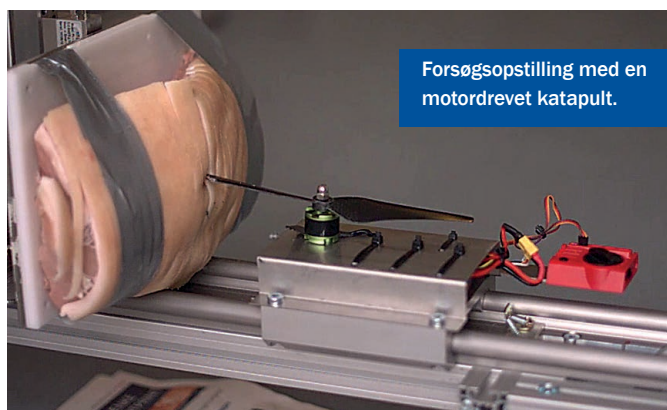
Birgitte Svennevig, SDU

Drone-skader på flæskesteg

Slow-motion optagelser af droners hårdhændede sammenstød med en dansk flæskesteg er blevet et internationalt hit på YouTube, efter at forskere fra Aalborg Universitets Drone Research Lab har offentliggjort dem. Optagelserne skal dokumentere, hvad der sker, hvis forskellige typer droner og propeller rammer et menneske. Men det er kompliceret at genskabe en realistisk kollision.

Drone-forskerne samarbejder med eksperter på Aalborg Universitetshospital, som giver råd om vurderingen af mulige skader på mennesker. Valget af flæskesteg som skydeskive sker efter anbefaling fra eksperter i forsøg med skydevåben. Forskerne har også planer om eksperimenter med noget, der ligner fingre og hænder, så de kan analysere risikoen for snitsår.

Den nye forsøgsopstilling inkluderer en motordrevet katapult og højhastighedskameraer. Selve katapulten er knap tre meter lang og bygget i aluminium. Slæden trækkes af en elmotor. Den kan accelerere en 1 kg drone op til 15 m/s, og sammenstødet filmes med et højhastighedskamera med over 3000 billeder i sekundet. Samtidig måles kraften i anslaget over tid, da det har betydning for skadernes omfang. Det er planen at opgradere katapulten til større droner og højere hastigheder, når forskerne får mere erfaring med den.



Forsøgsopstilling med en motordrevet katapult.

Foto: AAU Drone Research Lab

Katapulten er bygget af universitetet specielt til denne type forsøg, og den er stadig i test-fasen. Forskerne arbejder også på at udvikle en anordning, der lader dronen svæve frit det sidste stykke, sådan som den ville gøre i virkeligheden. Det har betydning for, hvordan den opfører sig efter sammenstødet, og dermed kan det også påvirke skadernes omfang.

Se droneforskernes videoer på kortlink.dk/kzyk.
Af Carsten Nielsen, journalist, Aalborg Universitet.

Plantestoffer medvirker til skydannelse

Der er ikke noget så smukt som de arktiske egne på en skyfri dag med høj sol, ingen vind, knastør luft og et sneklædt landskab, hvad enten det er i Grønland eller på Svalbard. Men der er en skyggeside ved de solrige, skyfri dage i Arktis. Permafrosten tør og bundne gasser i jorden – fx CO₂ og methangas – siver ud af tundraen, stiger til vejrs og bidrager dermed til den globale opvarmning, når der ikke er skyer på himlen til at dække. Men nu har forskere ved Københavns Universitet gennem feltarbejde i Grønland fundet ud af, at der er lidt godt nyt midt i det uoverskuelige scenario i Arktis, hvor sneen og isen smelter i disse år og verdenshavene langsomt, men sikkert stiger. Og den gode nyhed er at finde i naturen selv. Planterstoffer kan nemlig være med til at danne skyer og dermed holde temperaturen nede. Det er de såkaldte flygtige stoffer, biogenic volatile compounds, (BVOC), som forskerne har kigget på. Det er stoffer, som planterne sender ud for fx at forsvare sig mod skadedyr eller tiltrække andre insekter til at bestøve planterne. Det er første gang, at forskerne for alvor sætter disse flygtige stoffer under en klimatologisk lup og resultaterne er opsigtsvækkende. Så meget, at de er blevet offentliggjort i det ansete webmagasin *Nature Geoscience*.

Men det er ikke udelukkende positive resultater om de flygtige stoffers situation i Arktis, som forskerne er nået frem til.

Leder af projektet, lektor Riikka Rinnan, fra Biologisk Institut på KU, siger: »Når flygtige stoffer indtræder i atmosfæren har de to modsatrettede virkninger. Dels forlænger de levetiden for metan, som er en særdeles potent drivhusgas, 25 gange værre end CO₂, dels stimulerer de dannelsen og væksten af partikler i luften, og dette kan køle klimaet ned.



Prøver med flygtige stoffer samles ved at placere et transparent kammer ovenpå et lille areal tundra.

Foto: Josephine Nymand

Og når luften i Arktis er meget ren, har frigivelsen af de partikeldannende flygtige stoffer fra tundraen særlig stor betydning. Det hænger sammen med, at skyer kun kan dannes, når der er partikler i luften, hvorpå vand kan kondenseres. Det betyder, at hvis der frigives flere flygtige stoffer fra tundraen, så vil der dannes flere partikler i atmosfæren og dermed skyer. Og det har en kolossal betydning for klimaet i Arktis, understreger Riikka Rinnan.

Det er i øvrigt ikke kun "lokale partikler", der kan bidrage til skydannelse i Arktis. Også partikelforurening, der kommer langvejs fra kan være med til at fortætte vanddamp og dermed danne skyer.

Svend Thaning, journalist, Københavns Universitet

Nanopartikler kan påvirke smådyr

Nanopartikler bliver i stigende grad benyttet i produkter som skibsmaling, solcreme, sportstøj og elektronik, og dermed havner en del af nanopartiklerne i sidste ende i vandmiljøet. Hidtil har man haft begrænset viden om, hvilken påvirkning disse små partikler har i naturen, men i sin ph.d.-afhandling har postdoc Amalie Thit Jensen fra Institut for Naturvidenskab og Miljø, Roskilde Universitet undersøgt, hvordan nanopartiklerne spreder sig til dyr, der lever i sedimentet på bunden af havet eller søen.

Laboratorieforsøg viser, at nanopartikler af kobberoxid, der bliver udledt til vandmiljøet, sandsynligvis ophobes i sedimentet på bunden af søer og havet. Amalie Thit Jensen har i sin forskning eksperimentet med at tilsætte kobber-nanopartikler til sedimentet og derefter udsætte børsteorme, som lever i og af sedimentet. Efter 10 dage kunne hun konstatere, at børsteormene havde ophobet kobber i deres væv.

Hun har også undersøgt, om kobberoxid-nanopartikler kan være giftige for dyr, som optager dem. Udover børsteorme har hun undersøgt krebsdyr, larver fra zebrafisk og nyreceller fra en frø. Hendes forsøg har vist, at nanopartiklerne kan skade DNA, at de kan øge dødeligheden, og at de kan medføre, at dyrenes adfærd ændres, hvilket kan have store konsekvenser i miljøet. Nogle studier har således vist, at



Foto fra laboratorieforsøg med børsteormen, *Nereis diversicolor*.

Foto: Amalie Thit Jensen

ormene er mindre tilbøjelige til at grave sig ned, når de er påvirket af kobberpartikler, hvilket gør dem mere udsatte for at blive spist af fisk og andre rovdyr. Dog varierer giftigheden af kobberoxid-nanopartiklerne betydeligt afhængigt af, hvilke dyr eller celler hun tester på. Derfor er det svært at sige noget entydigt om, hvor giftige nanopartiklerne er.

Et meget relevant spørgsmål, som Amalie Thit Jensens forskning rejser, er, om nanopartikler, som ophobes i de små dyr, der lever på hav- og søbunden kan sprede sig i fødekæden til fisk og måske i sidste ende havne i mennesker. Det vil fremtidig forskning forhåbentlig give et svar på.

CRK, Kilde: RUC

Vibrationer sender skred på langfart

En tommelfingerregel siger, at jordskred i de fleste tilfælde kan bevæge sig omtrent dobbelt så langt som den højde, hvorfra materialet starter sit fald, når det har nået fladt land. Hvis skreddet fx starter i en højde på en halv kilometer, vil det således typisk ende i en afstand af ca. en kilometer fra det sted, hvor materialerne når foden af skrånningen. Men visse typer af skred kan bevæge sig 10-20 gange så langt og derfor sende materialer mange kilometer væk fra åstedet. Et hold af forskere ledet af Brandon Johnson fra Brown University i Providence, Rhode Island, har nu nærmere studeret, hvad der foregår i disse langt-rækkende jordskred.

Allerede i 1979 foreslog Jay Melosh fra Purdue University en mekanisme kaldet "akustisk flydning" som forklaring på dette fænomen, hvor skred af en tilstrækkelig størrelse ville skabe vibrationsbølger, der kunne modvirke den interne friktion. Senere i 1995 lykkedes det Charles Campbell at udvikle en computermodel, der kunne forklare skreddene udelukkende ud fra den interne dynamik, og uden det altså var nødvendigt at inkludere særlige omstændigheder som vand eller "luftpuder". Men de finere detaljer i partiklernes bevægelse i et skred var modellen med datidens regnekraft ikke i stand til at afklare. I det nye studium har forskerne fintunet modellen og kørt den på en moderne computer. Og disse modelberegninger bekræfter nu, at de interne vibrationer skabt af materialet i bevægelse reducerer friktionen, så skreddet næsten kan flyde som en væske.

Mængden af materialer er som allerede antydende afgørende for, at der kan opstå akustisk flydning – det er således ikke et fænomen, der opstår i små skred. Det er også et fænomen, der har stor betydning for risikovurderinger. For disse langtrækkende skred betyder, at selv beboelser i tilsyneladende sikker afstand fra potentielle skredområder, kan være i fare. Det så man fx i 1806, hvor et skred pløjede gennem landsbyen Goldau i Schweiz og kostede næsten 500 menneskeliv.

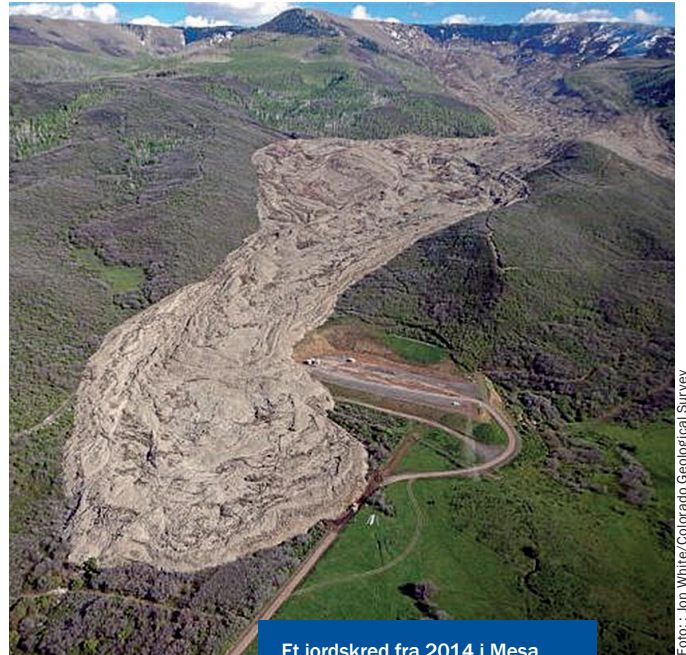


Foto: Jon White/Colorado Geological Survey

Et jordskred fra 2014 i Mesa County, Colorado, USA. Det indeholdt ca. 30 mio. km³ materiale og bevægede sig en strækning på omkring 4,5 km.

Forskerne mener også, at fænomenet kan opstå i andre typer begivenheder, hvor store mængder materialer sættes i bevægelse – fx langs brudzoner i jorden i forbindelse med jordskælv.

CRK. Kilder: Brown University. *J. Geophys. Res. Earth Surf.* <http://doi.org/bd4x> (2016)

Med solsejl til vores nabostjerne

Med blikket vendt mod stjernesystemet Alpha Centauri kunne de to fysikere Stephen Hawking og Yuri Milner den 12. april præsentere *Breakthrough Starshot*-projektet. Målet med projektet er at udvikle et lille, ubemandet måleinstrument, der skal kunne tilbagelægge de 4,4 lysår fra vores eget solsystem til Alpha Centauri på blot 20 år.

Det planlagte rumfartøj er en lille chip på størrelse med frimærke med et ekstremt tyndt sejl spændt foran. Tusind af disse små prober er placeret i et moderskib, der skal transportere dem ud af Jordens atmosfære, hvorefter en kraftig laserstråle vil fokusere på de små sejl og accelerere de små prober til 20 % af lysets hastighed, cirka 60.000 km i sekundet. Med denne hastighed vil den lille probe have passeret Plutos omløbsbane efter blot tre dage.

Solsejlet, som teknologien hedder, tager udgangspunkt i, at lyspartikler kan overføre en del af deres energi til reflekterende overflader. Sollysets intensitet aftager med afstanden fra Solen, og i Jordens afstand

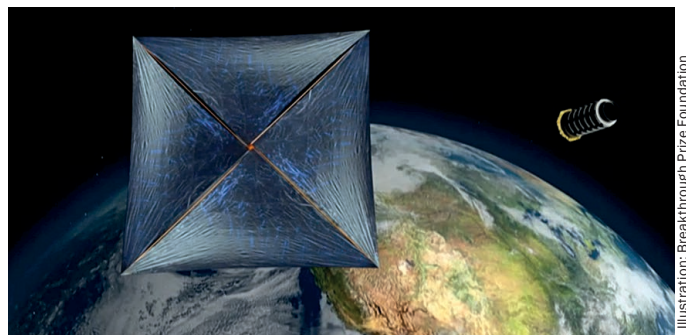


Illustration: Breakthrough Prize Foundation

kan sollyset lave en påvirkning på cirka 9 newton pr. kvadratkilometer (et sejl på 31x31 meter vil teoretisk kunne accelerere en genstand på 1 kilo med 9 m/s).

Kasper Sjødin Kristensen, www.space.com/32546-interstellar-space-flight-stephen. Læs mere i artiklen *Sæt sejl mod stjernerne*, *Aktuel Naturvidenskab* nr. 4/2014. Der er også undervisningsmateriale.

Farver skal fange kritiske patienter

Farverne grøn, gul, orange og rød skal gøre det lettere for personalet på hospitaler at spotte de akutte patienter, som er i risikozonen for at udvikle uventede livstruende komplikationer. I stedet for, at sygeplejersken skal navigere i forskellige tal for blodtryk, puls og iltmætning, samler et nyt it-system alle de vitale parametre. Systemet giver patientens samlede tilstand en farve. Når sygeplejerskerne ser farvernes udvikling over tid, kan de hurtigt spotte risiko-patienterne. Dermed løses et problem, som personalet på Odense Universitetshospital (OUH) har identificeret. Personalet oplever nemlig, at de har svært ved at spotte de patienter, som pludseligt får det kritisk dårligt under indlæggelsen.

I dag fungerer det på den måde, at når patienter indlægges akut på hospitaler, inddeles de i kategorierne rød, orange, gul, grøn og blå – afhængig af hvor kritisk deres tilstand er. Patienter i den røde kategori visiteres direkte til hospitalets traumestue, mens patienter fra de orange og gule kategorier sendes til behandlingsrum, hvor de ofte kobles på en patientmonitor, som løbende overvåger vitale parametre som blodtryk, puls og hjerterytme.

»Problemet er, at de forskellige målinger ender som et uforståeligt hav af bip-lyde, som det er svært for personalet at navigere i. Informationerne ender med at blive en baggrundsstøj, og det er svært at få støjens omsat til et helhedsbillede af patientens tilstand,« forklarer videnskabelig assistent Thomas Schmidt fra Syddansk Universitet (SDU). Han har tilbragt mange timer på forskellige hospitalsafdelinger for at få et indblik i, hvordan sygeplejersker arbejder, og han fandt hurtigt ud af, at det ikke er flere bip-lyde, de har brug for.

»Jeg har derfor lavet et computersystem, som samler informationerne fra de forskellige vitale målinger, bearbejder dem og koger dem ned til en farve. Ved at følge udviklingen i farven på en skærm, kan sygeplejerskerne lynhurtigt danne sig et helhedsbillede over patientens tilstand.«



Foto: Colourbox

Nyt computersystem kan give effektivt overblik over patienters tilstand.

Systemet er blevet testet på 18 sygeplejersker, der alle været meget glade for det hurtige overblik, som farverne giver. Ved at se på farvernes udvikling over et tidsrum kan de danne sig et mere præcist billede af, hvor patienten er på vej hen – og om der er udsigt til en kritisk tilstand.

Overlæge på Fælles Akutmodtagelsen på OUH, Annemarie Touborg Lassen ser systemet, som en væsentlig støtte i en travl hverdag.

»Det er lykket at udvikle et overblikssystem, der fungerer intuitivt og tidstro. I den færdige version vil det blive en væsentlig støtte i overvågning af patienterne i den travle kliniske hverdag på akutafdelingen,« siger hun.

Projektet, *Identifikation af højrisikopatienter*, er støttet af Danmarks største velfærdsteknologiske forsknings- og innovationsprojekt *Patient@home*.

Mette Christina Møller Andersen, Det Tekniske Fakultet, SDU

Hvid dværg med speciel atmosfære

Stjerner som fra deres "fødsel" er mindre end svarende til 10 gange Solens masse – og det vil i praksis sige de fleste stjerner i Universet – vil ende deres dage som en såkaldt hvid dværg. En hvid dværg er et lille, varmt og ekstremt kompakt objekt, som bliver tilbage, når stjernen populært sagt løber tør for brændstof og afstøder de yderste lag. Ifølge teorierne for stjerners udvikling bør hvide dværge primært bestå af grundstofferne helium, carbon og oxygen. Men de små mængder af de lettere grundstoffer helium og hydrogen, der er tilbage i stjernen, vil på grund af gravitationel diffusion hurtigt flyde op til overfladen og dermed skjule den underliggende sammensætning for forskerne.

Ved at studere spektrene fra tusinder af hvide dværge optaget med teleskopet Sloan Digital Sky Survey telescope har forskere fra Brasilien og Tyskland opdaget en hvid dværg, der skiller sig ud fra mængden. Således er denne hvide dværg tilsyneladende blevet strippet for sine lette grundstoffer og efterladt en atmosfære, som helt overvejende består af oxygen med spor af neon og magnesium. Disse tre grund-

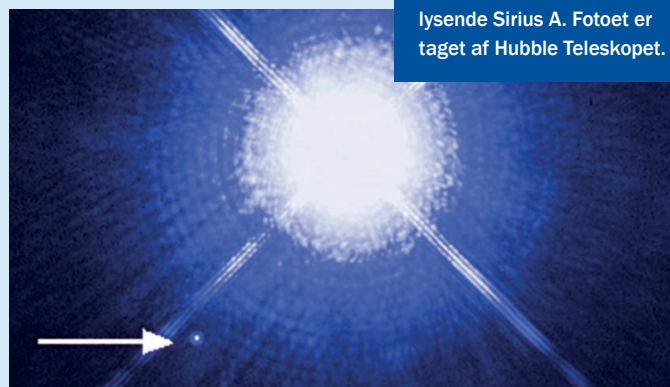


Foto: NASA

Eksempel på en hvid dværg, Sirius B, der ses ved pilen under den langt kraftigere lysende Sirius A. Fotoet er taget af Hubble Teleskopet.

stoffer produceres i stjernen i de sene faser af sin livscyklus, når stjernen begynder at fusionere carbon. Fundet af denne oxygen-neon hvide dværg udgør en sjælden test af teorien om udviklingen af hvide dværge.

CRK, Kilde: Science, vol. 352, pp. 67-69

Grødeskæring og vandstand i danske vandløb

Foto: Peter Munk

At skære planterne i vore vandløb anses for at være en effektiv metode til at sikre, at vandløbene kan lede vandet væk fra markerne. En undersøgelse af effekterne af grønnskæring i 126 danske vandløb viser dog, at metoden har sine begrænsninger.

Forfatterne



Just Krogh Simonsen, kandidat i biologi fra Aarhus Universitet.



Annette Baattrup-Pedersen, vandløbsøkolog, seniorforsker og sektionsleder i Sektion for Vandløbs- og Ådalsøkologi abp@bios.au.dk (fortsættes...)

Vandløb og grønnskæring har været et varmt emne den seneste tid. En af grundene til dette er, at grønnskæring anses for at være et centralt virkemiddel til at forbedre afvandingen af landbrugsjord. Hvordan hænger det så sammen? Svaret er simpelt: Vandløbenes planter yder modstand mod vandets strømning, og dermed spiller grønnskæring en rolle for vandstanden i vandløbene. Problemerne med oversvømmelser af landbrugsjord er i dag stigende, og landbrugsorganisationerne presser på for at øge grønnskæringen i vandløbene. Men hvor effektivt er dette virkemiddel egentlig i forhold til at sikre vandløbenes vandføringsevne og dermed afvandingen? Det er der forholdsvis lidt faktuel viden om.

I et specialeprojekt har vi ved institut for Bioscience ved Aarhus Universitet undersøgt effekten af grønnskæring på vandstanden i 126 danske vandløb i perioden 1990-2012. Formålet med undersøgelsen var at få sat tal på, hvor meget vandstanden falder, når der grønnskæres og samtidig belyse, om faldet i vandstand varierer gennem planternes vækstsæson. Samtidig var formålet at undersøge, om der var en sammenhæng mellem, hvor ofte der skæres, og hvor hurtigt planterne vokser frem igen efter en grønnskæring.

Vandstand, vandføring og grøde

Vandstanden i vores vandløb afhænger især af vandføringen, altså hvor meget vand der strømmer i vandløbet. Derudover afhænger vandstanden af



Ryom å, ved Mesballe, som netop er blevet grødeskåret. En målestation til vandstand ses til højre.

Foto: Annette Baattrup-Pedersen

← Foto: Maskine med en såkaldt majekurv til beskæring af grøde på arbejde ved Romdrup Å

126 målestationer

Kortet viser placeringen af de 126 målestationer, som har leveret data til denne undersøgelse. De udgør en delmængde af omkring 300 hydrometriske målestationer, som er i drift under det nationale overvågningsprogram. De vandløb, som indgår i undersøgelsen, blev udvalgt ud fra følgende kriterier:

- 1) vandløbene skulle være mellemstore eller store, da det typisk er disse, der har en veludviklet undervandsvegetation (af de 126 vandløb er 74 såkaldt type 2 vandløb (dvs. de er 2-10 m brede), mens 52 er type 3-vandløb, som er over 10 m brede).
- 2) vandløbene skulle have flere års hydrometriske data, således at det var muligt at beregne sommermiddelvandføringen.
- 3) vandløbene skulle dække den variation, der findes i, hvor hyppigt grøden skæres i danske vandløb, dvs. fra ingen skæringer til 6-8 skæringer årligt.



vandføringsevnen, som er bestemt af vandløbets bredde, dybde og vandløbets fald samt af strømningsmodstanden. I forhold til strømningsmodstanden spiller netop planterne, også kaldet grøden, en væsentlig rolle. Der er dog betydelige variationer fra år til år i grødens betydning for vandføringsevnen, hvilket igen har betydning for, hvor meget vandstanden falder, når der grødeskæres. Det skyldes især, at planternes væksthastighed er meget afhængig af de klimatiske betingelser. En varm sommer med meget sol giver hurtig plantevækst, og dermed påvirker planterne vandføringsevnen mere en varm sommer, end de gør en kold sommer med langsom plantevækst. Samtidig yder forskellige plantearter forskellig grad af modstand mod van-

dets strømning. Planter med fleksible stængler, som karakteriserer de egentlige vandplanter, yder eksempelvis langt mindre modstand mod strømningen end planter med mere stive stængler, som karakteriserer mange sumpplanter. Planternes rumlige fordeling i vandløbet spiller også en rolle for strømningsmodstanden. Fx kan grødeøer af vandranunkel yde mindre strømningsmodstand end en mere åben bestand af båndblade af pindsvineknop ved den samme biomasse.

I vores undersøgelse blev der registreret i alt 3.086 grødeskæringer i den undersøgte periode (1990-2012). Mere end 85 % af disse blev foretaget i perioden juni-september. I de fleste vandløb grødeskæ-



Søren E. Larsen, statistiker, seniorforsker i Sektion for Vandløbs- og Ådalsøkologi
sel@bios.au.dk

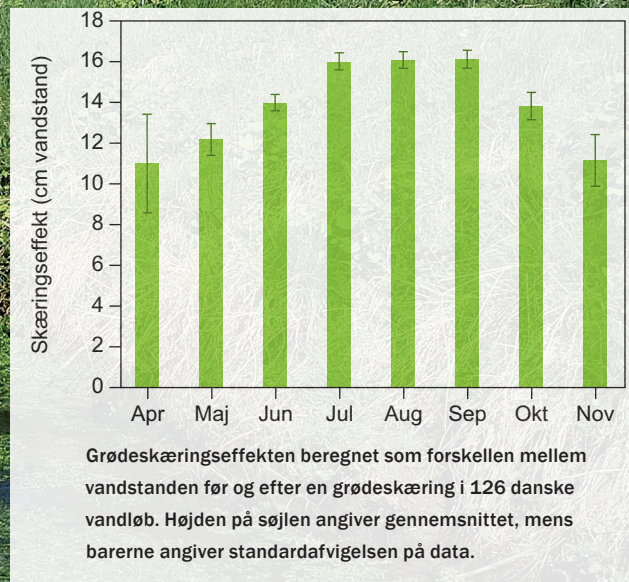


Niels B. Ovesen, hydrolog i Sektion for Oplandsanalyse,
nbo@bios.au.dk

Alle ved Inst. for Bioscience, Aarhus Universitet.



Foto: Peter Munk



En erfaren åmand kan slå grøden skånsomt og tage hensyn til vandløbsmiljøet.

res der på faste tidspunkter i løbet af planternes vækstsæson, hvilket er beskrevet i vandløbsregulativerne. Det betyder også, at skæringerne skal gennemføres på disse tidspunkter, uanset hvor meget biomasse der er i vandløbene.

Grødeskæring og vandstand

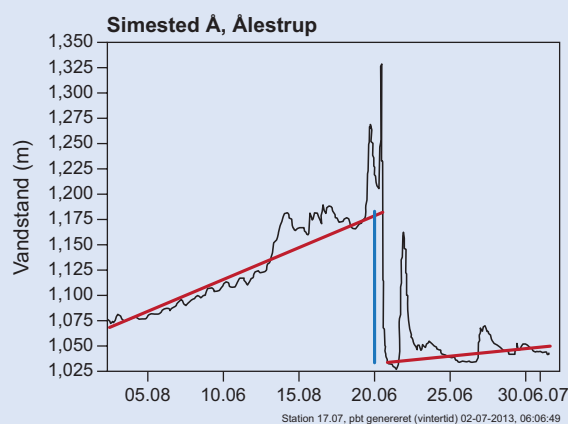
Vores analyse viser, at faldet i vandstand efter en grødeskæring varierer med tidspunktet for grøde-

skæringen. Effekten er størst i sommermånederne, hvor vandstanden falder med gennemsnitligt 16 cm, med et middeltal på 13 cm. Den mindst registrerede effekt af en grødeskæring er få cm, mens den maksimale registrerede effekt er 73 cm (august). Hvis vi ser på effekten i de måneder, hvor skæringseffekten er størst (i juli, august og september), er effekten dog sjældent så stor, idet den øvre kvartil ligger på 20 cm, hvilket betyder at 75 %

Vandstandsændringer

I undersøgelsen indgik måledata fra 126 målestationer i danske vandløb. En grødeskæring afsløres ved et fald i vandstanden i løbet af få timer på vandstandskurven. På den baggrund registrerede vi i alt 3.086 grødeskæringer i den undersøgte periode (1990-2012). Mere end 85 % af de registrerede grødeskæringer blev foretaget i perioden juni-september. For at undgå at ændringer i vandføringen og eventuelle ekstreme hændelser skulle påvirke de aflæste vandstandsændringer, anvendte vi den såkaldte styrevandstand, der er en beregnet vandstandskurve under antagelse af en teoretisk konstant vandføringsværdi. Effekten af en grødeskæring er i undersøgelsen beregnet som forskellen mellem styrevandstanden før og efter skæringen. Fald i vandstande på mindre end 6 cm blev kategoriseret sammen og fik alle tildelt værdien 6 cm, da der kan være usikkerhed i aflæsning af så små ændringer i vandstanden.

Figuren viser et eksempel på, hvordan vandstanden i et vandløb ændres som følge af en grødeskæring. Vandstanden stiger i løbet af juni med godt 10 cm og skæres den 20. juni.



Der ses en tydelig top tidligt på dagen den 20. juni formentlig som følge af stuvning af vandet i forbindelse med skæringsarbejdet, efterfulgt af et brat fald efterfulgt af en ny vandstand på et lavere niveau. Den røde linje angiver vandstanden før og efter skæring. Skæringseffekten er højden i cm på faldet i vandstand (blå).

af de gennemførte grødeskæringer giver en vandstandssænkning på mindre end 20 cm.

Planternes genvækst varierer med tidspunktet for grødeskæringen og med antallet af årlige grødeskæringer. Genvæksten er størst i juni måned, hvor planternes vækst giver en gennemsnitlig vandstandsstigning på 0,41 cm/dag, mens der ingen genvækst er i efteråret. I oktober måned kan registreres en negativ genvækst, hvilket betyder at planternes biomasse henfalder.

Det mønster, vi finder i planternes genvækst, afspejler lys- og temperaturforhold i vandløbene. Planterne påbegynder væksten i det tidlige forår, når lys- og temperaturforhold er gunstige. Hvis vandløbene ikke grødeskæres, stopper væksten dog gradvist, efterhånden som plantebiomassen bliver større, og lyset bliver begrænsende for væksten. Modsat fortsætter væksten i vandløb, der grødeskæres, fordi der kommer mere lys ned til bunden, når plantebiomassen skæres væk. Det betyder, at planterne bliver ved med at vokse. Faktisk vil det være sådan, at gentagne grødeskæringer i forårs- og sommermånederne kan bevirke, at planterne vedvarende vokser eksponentielt, fordi betingelserne for vækst er optimale, hvad angår lys, men også hvad angår tilgængeligheden af næringsstoffer, som aldrig begrænser plantevæksten i danske vandløb.

Plantegenvækst

Genvæksten er størst i de vandløb, der skæres hyppigst. Genvæksten stiger fra gennemsnitligt 0,04 cm/dag ved 1 årlig skæring til gennemsnit-

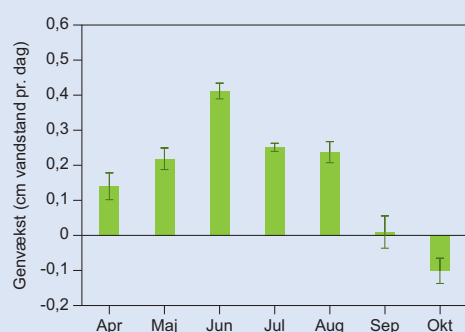
ligt 0,6 cm/dag ved mere end 6 årlige skæringer (der er ikke signifikant forskel på genvæksten ved 6, 7 og 8 årlige skæringer). Disse tal dækker dog over, at der også er en årstidsafhængighed i planternes genvækst som beskrevet tidligere. Kigger vi på juni måned alene, hvor væksten er højest, finder vi således, at genvæksten stiger fra gennemsnitligt 0,2 cm/dag ved 1 årlig skæring til gennemsnitligt 0,9 cm/dag ved 8 årlige skæringer.

Hvis vi omsætter genvæksten til, hvor længe grødeskæringen har en effekt på vandstanden, finder vi, at når genvæksten er 0,6 cm/dag (som fundet ved 6-8 årlige skæringer), vil en vandstandssænkning på 16 cm være udlignet efter 4 uger. Når genvæksten er 0,9 cm/dag, som vi finder i juni måned, vil vandstandssænkningen være udlignet efter ca. 2,5 uger.

Hvorfor er plantegenvæksten størst i vandløb der skæres hyppigt?

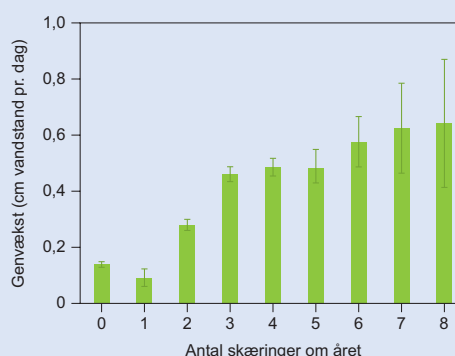
Egentligt er det ikke særligt overraskende, at plantegenvæksten stiger med skæringshyppigheden. Plantesamfundene tilpasser sig nemlig de forhold, der er i vandløbet, og grødeskæres der ofte, vil det være de arter, der tåler de hyppige skæringer, der kommer til at dominere. Arter, der tåler skæring, vokser generelt hurtigt, og de vokser fra de basale dele af planten. Det betyder, at deres vækstpunkt er intakt efter en skæring. Når lysforholdene forbedres, genoptager de derfor hurtigt væksten – som regel hurtigere end før skæringen, fordi lysforholdene er blevet bedre. Mange skæringstolerante arter har også rodknolde (såkaldte rhizomer) i vandløbsbunden, og de kan derfor påbegynde

Genvækst



Figuren til venstre viser planternes genvækst efter en grødeskæring i forår, sommer og efterårsmåned i de 126 danske vandløb. Figuren til højre viser planternes genvækst efter en grødeskæring som funktion af grødeskæringshyppigheden.

Genvæksten blev beregnet som cm vandstandsstigning/dag imellem to på hinanden følgende grødeskæringer. I vandløb uden grødeskæring blev genvæksten beregnet som vand-



standsstigning/dag fra 1. maj og tre uger frem, hvor væksten er maksimal i vandløbene, mens den i vandløb med en årlig skæring blev beregnet som cm vandstandsstigning/dag fra skæringsdagen og tre uger frem. I begge tilfælde blev tre uger valgt for at sikre, at genvæksten ikke blev underestimeret som følge af selvskygning i grødeøerne. Højden på søjlen angiver gennemsnittet, mens bærerne angiver standardafvigelsen på data.

Korte efteruddannelseskurser i BIOLOGI

Kommende kurser:

Myrer og melorme på menuen
– en økologisk bæredygtig fødekilde
24.-25. august 2016, Silkeborg
Tilmeldingsfrist 20. juni

Genetik i naturforvaltningen
6.-7. oktober 2016, Aarhus
Tilmeldingsfrist 5. juni

Måling af energistofskiftet
3.-4. november 2016, Aarhus
Tilmeldingsfrist 20. september



Institut for Bioscience udbyder en række kortere kurser, der er målrettet undervisere i biologi og bioteknologi på ungdomsuddannelserne.

Kurserne dækker bredt fra økologi til specifikke forsøg, der eksempelvis bruger myrer og melorme som bæredygtig fødekilde. Eller du kan måle energistofskiftet og lære om genetik i naturforvaltningen.

Forskere fra Aarhus Universitet omsætter den nyeste viden til relevante undervisningsforløb, hvor du får nye kompetencer og praktisk erfaring med metoder, som du kan anvende direkte i din undervisning.



AARHUS
UNIVERSITET
INSTITUT FOR BIOSCIENCE

Læs mere og tilmeld dig på
www.bios.au.dk/efteruddannelse



Videre læsning

Baatrup-Pedersen, A., Göthe, E., Riis, T., O'Hare, M.T. (2016) Functional trait composition of aquatic plants can serve to disentangle multiple interacting stressors in lowland streams. *Science of the Total Environment*, 543, 230-238.

Sand-Jensen K 1997. Macrophytes as biological engineers in the ecology of Danish streams. In: K Sand-Jensen & O Pedersen (eds), *Freshwater Biology – Priorities and Development in Danish Research*. G.E.C. Gad, Copenhagen, Denmark, 74-101.

Undersøgelsen beskrevet i denne artikel blev udført som Just Krogh Simonsens specialeprojekt under vejledning af Annette Baatrup-Pedersen og Niels B. Ovesen.

væksten tidligt om foråret, hvilket også giver dem en konkurrencefordel. Modsat er arter, som vokser fra de øvre dele, mere følsomme overfor grødeskæring, fordi deres vækstpunkt bortskæres, når der grødeskæres. Arter, der har forskellige bladformer under og over vand (kaldet heterofylle blade), er også mere følsomme over grødeskæring. Disse arter er tilknyttet områder i vandløbene, hvor der naturligt bygges sediment op gennem vækstsæsonen. Når der grødeskæres, stiger vandhastigheden i vandløbene, og disse områder forsvinder, fordi sedimentet løsrives og transporteres nedad i vandløbet.

Hvis grødeskæringshyppigheden øges, vil der i mange vandløb være en risiko for, at grødeskæringsbehovet samtidig stiger. Det skyldes, at hyppig skæring fremmer netop de arter, der har hurtig genvækst, og så skal der skæres endnu hyppigere. Det sker ikke fra den ene dag til den anden. Men der er ingen tvivl om, at konsekvensen af at intensivere grødeskæringen i vandløb, der ikke allerede skæres hyppigt, er, at man fremprovokerer en situation, hvor der skal skæres endnu hyppigere for at bevare den samme afvanding.

Fare for en negativ spiral

Vores undersøgelse viser, at grødeskæring, som den praktiseres i dag i de mellemstore og store vandløb, har en række begrænsninger i forhold til at bidrage til at sikre afvandingen af landbrugsarealer. Det skyldes primært to forhold. For det første opnår man kun en ganske begrænset vandstandssænkning – gennemsnitligt 16 cm i sommerperioden og mindre i forår og efterårsmånederne, når der grødeskæres. Samtidig kan grødeskæring ikke bidrage til at sikre afvandingen i vinterperioden og det tidlige forår, hvor nedbørsmængderne og dermed afstrømningen er størst. Det skyldes, at der enten ikke er grøde, hvilket gælder for de fleste vandløb, eller at der kun er en begrænset mængde. For det andet kan en intensivering af grødeskæringen betyde, at behovet for at grødeskære øges, uden at afvandingen på sigt bliver bedre. Man kan ende i en situation, hvor der skal grødeskæres hver 2.-3. uge for at sikre en given afvanding. På denne måde kan man ende i en negativ spiral, hvor man stimulerer væksten af de arter, der tolererer grødeskæringen, hvilket også er de arter, der har den største genvækst efter en skæring. ■

Kulde og tungmetaller

- en farlig cocktail i Arktis



Foto: Martin Blicher

Blåmuslinger kan måske hjælpe forskere med at forudsige konsekvenserne af fremtidige forureninger med tungmetaller i Arktis. Det kan blive aktuelt pga. den øgede interesse for at udnytte Grønlands mineralressourcer.

Den grønlandske undergrund gemmer på værdifulde ressourcer, som er efterspurgt verden over. Her findes der olie og mineraler som bly, jern, zink og guld. Og med det varmere klima i Arktis åbnes dørene for nye skibsruter til Grønland, som gør adgangen til ressourcerne lettere og dermed mere rentabel.

Grønland fik i 2009 rettighederne over landets ressource rigdom tilbage fra Danmark, herunder rettighederne til landets underjordiske mineralressourcer, og siden har Grønland givet licenser til at søge efter råstoffer i særligt udvalgte områder. Det kan skabe tiltrængt økonomisk vækst i Grønland, der mangler arbejdspladser til befolkningen. Men udvindingen af råstoffer kan få alvorlige konsekvenser for livet og naturen i Grønland.

Fortidens synder

Råstofudvinding kan påvirke de arktiske dyrearter, der i forvejen er følsomme overfor forandringer, fordi de lever og yngler i et meget begrænset

område. Det viser Grønlands minehistorie. Allerede i 1850'erne åbnede landets første miner, og helt frem til i dag har store mængder mineaffald betydet en markant tungmetallforurening af grønlandske fjorde som Arsuk og Affarlikassaa samt omkringliggende områder. Fx lukkede den forhenværende bly- og zinkmine "Den Sorte Engel" i Maarmorilik i Vestgrønland årligt 500.000 tons mineaffald direkte ud i det omkringliggende fjordsystem. De biologiske konsekvenser af fortidens omfattende forurening bliver stadig undersøgt den dag i dag af forskere ved Arktisk Forskningscenter. Men det står allerede nu klart, at forhøjede niveauer af zink og bly vil kunne spores i og måske endda påvirke fjordens dyr og planter de næste 40-50 år. Forhøjede niveauer af forskellige tungmetaller kan skade dyrs reproduktionsevne og overlevelse.

På grund af det følsomme arktiske miljø – og fordi mineindustrien nu igen kan være på vej til Grønland – er den grønlandske miljøkontrol og for-

Forfatteren



Jakob Thyrring er biolog, ph.d.-studerende ved Arktisk Forskningscenter Aarhus Universitet thyrring@bios.au.dk



Miljøindikator-organismer

Dyr, planter og andre organismer kan bruges til at overvåge miljøforholdene i et givet område. Det er en hurtigere og mere effektiv måde at måle en miljøtilstand på frem for at foretage omfattende målinger af et områdes fysiske og kemiske forhold. Miljøindikator-organismer skal repræsentere det miljø, der skal beskrives. Ændringer i miljøindikator-organismes tilstand sker i takt med det omkringliggende miljø ændres. Fx er en kendt indikator *E.coli*-bakterier, der bruges til at måle, om vores drikkevand er forurenet. *E.coli*-bakterier

er ikke i sig selv farlige, men bakteriernes tilstedeværelse i drikkevand indikerer, at vandet er forurenet med overfladevand eller fækalier. Desuden bruges miljøindikator-organismer som blåmuslinger og tangplanter til at indikere forurening af havet, mens lavarter (fx snekruslav) kan bruges til at overvåge luftforurening.

Billedet viser et udsnit af den grønlandske tidevandszone.

Om vinteren bliver blåmuslinger og andre dyr udsat for ekstrem kulde, når de blottægges ved lavvande.

Foto: Mikael Sejv



Snekruslav (*Cetraria nivalis*) kan bruges som indikatororganisme for luftforurening i Grønland.

Foto: Lis Bach

valtningen af råstofudvinding i dag blevet skærpet. Nye miner og boreplatforme skal dokumentere, at der bliver arbejdet for at minimere risikoen for, at forurenende stoffer bliver udledt til naturen, og reglerne siger, at industrien skal udføre en grundig miljøvurdering forud for råstofudvinding. Men hvad sker der, hvis der alligevel går noget galt? Vi så et eksempel i 2010 med olieudslippet fra boreplatformen *Deepwater Horizon*, som lækkede olie i 87 dage direkte ud i den Mexicanske Golf. Også den økonomiske og biologiske katastrofe efter tankskibet *Exxon Valdez*, der i 1989 lækkede 42 millioner liter råolie ved Alaska, står som en påmindelse om, hvor alvorlige konsekvenserne kan være, hvis der sker udslip fra råstof-industrien ud i naturen.

En sikker råstofudvikling i Arktis kræver derfor dels et omfattende beredskab i tilfælde af udslip, dels mere viden om hvordan tungmetaller og olie påvirker det naturlige dyre- og planteliv i det følsomme arktiske økosystem. I forhold til det sidstnævnte kan vi forskere hente hjælp hos en af den grønlandske naturs mere uanseelige skabninger – nemlig hos blåmuslingen.

Muslinger som forurenings-indikator

I min forskning bruger jeg blåmuslingen som en miljøindikator-organisme, fordi den ophober tungmetaller og andre kemikalier fra omgivelserne i sit væv. På den måde bliver det muligt at måle, hvor stor en del af miljøets totale tungmetal-

TILBUD

TIL DIG OG DINE ELEVER FRA
AARHUS UNIVERSITET



DET RULLENDE UNIVERSITET

Ønsker du
at få studerende fra
Aarhus Universitet
til at undervise
dine elever
i en hel dag?

Det rullende Universitet
har stadig plads
til at undervise flere
gymnasier i det
kommende skoleår.

Læs mere og ansøg på:
au.dk/detrullendeuniversitet

MENTORPROJEKTET **SUBUNIVERSITY**

Projektet er målrettet elever
fra ikke-akademiske hjem, som har
evnerne til at gennemføre en
universitetsuddannelse.

I skoleåret 2016/2017
er der plads til endnu flere
nye gymnasier.

Læs mere på au.dk/subuniversity





Kulde påvirker cellemembranen

Små vekselvarme dyr har næsten samme temperatur som det omgivende miljø. For at undgå skader på cellemembranen, når temperaturen falder, kan dyr regulere membranens struktur. Dette fænomen kaldes "homeoviskøs adaptation" og fungerer ved, at kroppen regulerer de relative mængder af cellemembranens fedtsyrer.

Cellemembranen består af mættede og umættede fedtsyrer, hvor forskellen på de to er, at umættede fedtsyrer indeholder dobbeltbindinger i den kemiske struktur. En cellemembran, der består af mange mættede fedtsyrer, er mere stiv end membraner med mange umættede, da dobbeltbindingerne skaber en mere løs og relativt svagt pakket membran. En højere grad af "umættethed" i membranen øger værnet mod kulde ved at sænke den temperatur, hvorved membranen stivner. Derudover regulerer fedtstoffet kolesterol også, hvor flydende membranen er: Et højt indhold af kolesterol giver således en mere stiv membran. Ved at ændre på cellemembranens kolesterol- og fedtsyreindhold kan membranen forblive flydende ved forskellige temperaturer.

Udover tungmetaller kan ekstrem kulde, skurende is og store bølger stresser blåmuslinger i Arktis.

Videre læsning

Anders Mosbech (2014) Til gavn for Grønland. Udvalget for samfundsgavnlig udnyttelse af Grønlands naturressourcer. Ilimatusarifik, Grønlands Universitet

Holmstrup, M. et al: (2010) Interactions between effects of environmental chemicals and natural stressors: A review. Science of the Total Environment, 408, 3746-3762

Nordisk Ministerråd (2010) Chemical cocktails - a serious matter of concern. www.mst.dk

Thyrring, J., Juhl, B.K., Holmstrup, M., Blicher, M.E. & Sejr, M. (2015) Does acute lead (Pb) contamination influence membrane fatty acid composition and freeze tolerance in intertidal blue mussels in arctic Greenland? Ecotoxicology, 24 (9), 2036-2042

Bayley, M. & Holmstrup, M.: Tørke, kulde og jordbundsdyr. Aktuelt Naturvidenskab 5/2001.

mængde, der bliver optaget i blåmuslingerne, og hvordan den mængde påvirker dyret. Blåmuslinger er også et godt valg som indikator-organisme, fordi de er udbredt i hele Grønland og Arktis, de er nemme at genkende, robuste overfor skiftende forhold i deres miljø, og så har de en relativt lang levetid.

Vi bruger også blåmuslinger i forsøg, der skal gøre os klogere på, hvordan giftige stoffer kan påvirke dyrene i Arktis. Den amerikanske miljøstyrelse fremsatte i 1984 en række risikovurderingsprocedurer til at vurdere og minimere risikoen af forskellige giftige stoffer i miljøet. Disse retningslinjer bruges stadig i dag til at vurdere effekterne af tungmetaller i naturen.

Der er dog et problem med de forsøg, der ligger til grund for retningslinjerne. Forsøgene er nemlig udført under optimale forhold for dyrene – fx fik dyrene masser af mad under forsøgene. Det gør det svært at overføre sådanne resultater fra laboratoriet til naturen, hvor forholdene sjældent er optimale, og hvor dyr stresses af deres miljø. Arktiske dyr stresses eksempelvis ofte af ekstrem kulde eller mangel på mad.

I nyere laboratorieforsøg forsøger vi at gøre op med manglerne ved de tidligere forsøg og derfor foretage forsøgene på dyr, som udsættes for ikke-optimale forhold. I min egen forskning har jeg fx

undersøgt, hvordan tungmetaller påvirker en blåmusling, der allerede er stresset af meget lave temperaturer.

Cocktail-effekten kan slå hårdt i Arktis

Når tungmetaller optages i organismer, er der risiko for, at de forskellige tungmetallers giftige påvirkning ganges med hinanden, så effekten af hver enkelt metals påvirkning mangedobles. Man taler om en "cocktail-effekt". Effekten af tungmetallforureningen kan derudover mangedobles, hvis dyret i forvejen er stresset af kulde, hvilket ofte gælder dyr i Arktis, hvor kulde er et grundvilkår. Ved vores forsøgslokaliteter i Grønland måler vi ofte lufttemperaturer under 25 graders frost i vinterperioden, og i tidevandszonen, hvor der sker store temperaturændringer. Her udsættes blotlagte blåmuslinger for et enormt kuldechok, der kan føre til kroniske skader eller død.

Kulden påvirker cellemembranerne hos blåmuslinger og andre vekselvarme dyr. For at kunne overleve skal et dyrs cellemembraner altid være en smule flydende. Ved for voldsom kulde stivner membranerne, livsprocesserne går i stå, og dyret dør. Det samme sker, hvis dyret bliver påvirket og stresset af tungmetallforurening. Det sker via en proces kaldet lipid-peroxidering, som mindsker mængden af umættede fedtsyrer i cellens membran. Når det sker, bliver membranen mere stiv og dermed ekstra følsom overfor kuldestress. Eksempler på dette er allerede påvist i regnorme, springhaler og andre landlevende dyr, hvor effekten af både nikkel, kobber og kviksølv blev mangedoblet i kombination med kulde. Altså var den kombinerede effekt af både lave temperaturer og tungmetaller langt større for dyret, end hvis dyret kun var blevet udsat for en af de to faktorer.

Der findes desværre meget få tilsvarende studier af disse cocktail-effekter på havets dyr og planter, og det er derfor, at jeg og andre forskere fra Arktisk forskningscenter ved Aarhus Universitet arbejder på at forstå den arktiske natur, og hvordan denne påvirkes af forurening.

Klædt på til fremtidens råstofeventyr

Det synes uundgåeligt, at fremtiden vil byde på øget råstofudvinding i Arktis. Et råstofeventyr i Grønland eller andre steder i Arktis vil selvfølgelig være af stor interesse for de involverede lande. Men det vil kunne få alvorlige konsekvenser for den enestående arktiske natur, hvis ikke vi er ordentlig forberedt på, hvilke effekter forurening kan få på det arktiske liv, og hvordan vi håndterer en eventuel forurening. Det er problematisk, hvis miljøvurderinger udelukkende baseres på viden om enkeltstoffers virkning uden hensyntagen til, at effekterne af de enkelte påvirkninger kan mangedobles i naturen. ■

FLYTVERDEN.DK

FORSTÅ OG FORUDSE FREMTIDEN

MATEMATIK PÅ AALBORG UNIVERSITET

MATEMATIK HANDLER OM AT KNÆKKE KODEN.

MAN LÆRER AT BRUGE AVANCEREDE TEORIER OG METODER FOR
AT KUNNE TÆNKE SYSTEMATISK OG RESULTATORIENTET.

MAN FÅR RIG MULIGHED FOR AT TÆNKE KREATIVT OG LØSE
ALVERDENS PROBLEMSTILLINGER I RELATION TIL TEKNOLOGI, ØKONOMI,
SUNDHED OG SAMFUND. MAN UDREGNER VERDEN.



AALBORG UNIVERSITET

Bortopereret hud hjælper forskerne

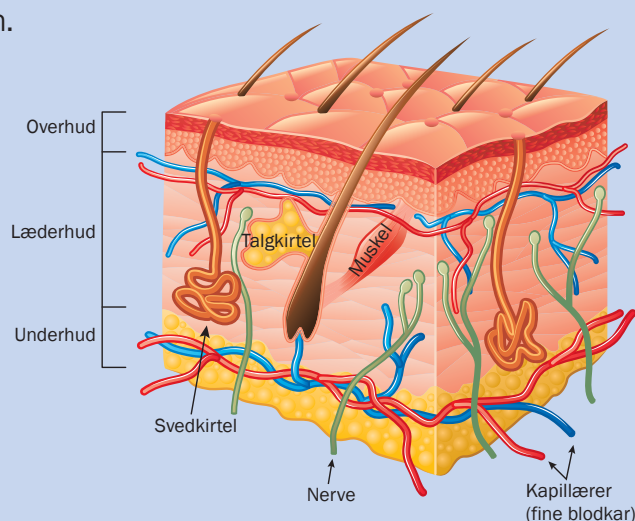
Med ny teknik og bortopereret hud fra patienter kan man blive klogere på vores immunsystem, og hvordan kroppen reagerer på ny medicin.

Huden er som kroppens største organ hjemsted for en stor del af immunsystemets celler og fungerer som kroppens første forsvarsværk mod trusler udefra såsom bakterier og vira. Til trods for, at huden umiddelbart er lige indenfor rækkevidde, er det overraskende kompliceret at studere, hvad der sker i huden under en infektion, eller hvordan den reagerer på potentielle lægemidler. Først og fremmest skal man have adgang til et stykke hud, men det kan være svært at finde frivillige forsøgspersoner, og det er ikke alle stoffer, man kan eller vil teste direkte i levende mennesker. I stedet kan vi bruge bortopereret hud fra patienter til den slags undersøgelser, hvilket jeg har benyttet mig af som en del af mit specialeprojekt på uddannelsen Molekylær Biomedicin ved Københavns Universitet i samarbejde med RefLab ApS.

I laboratoriet på RefLab ApS har vi adgang til overskydende hud fra kosmetiske operationer gennem vores samarbejde med et privathospital, der bl.a. fjerner løs hud fra maven på patienter efter massive vægttab. Denne hud var ellers var endt i skraldespanden, men kan nu i stedet bruges til forskning, hvilket giver os en unik mulighed for at studere hudens immunforsvar samt dens reaktion på flere forskellige påvirkninger uden gene eller risiko for forsøgspersoner.

Måling af hudens tilstand

Huden er et meget komplekst væv, som består af flere lag, hvori der findes mange forskellige celle-typer, der hver har deres funktion. En af de vigtige medspillere i kroppens forsvar mod omverdenen er T-cellen, der varetager flere funktioner i kroppens immunrespons. Når immunsystemet opdager en trussel, medfører det en aktivering af bl.a. T-cellerne, der begynder at producere signalmolekyler, heriblandt såkaldte cytokiner, som kan advare andre celler om faren, således at de også kommer i alarmberedskab.



Huden er kroppens største organ. Samlet har den et overfladeareal på ca. 1,8 kvadratmeter på et gennemsnitsmenneske, og den udgør 12-15 % af menneskets samlede kropsvægt. Der er 20 milliarder T-celler i huden – dobbelt så mange som i blodet.

Ved at måle på disse cytokiner kan vi undersøge, om immunsystemets forskellige celler er blevet aktiveret eller ej, da flere af signalmolekylerne kun udskilles af nogle bestemte celletyper, når de aktiveres.

Immunsystemets celler reagerer ikke nødvendigvis udelukkende ved at aktivere hinanden – de kan også reagere ved at undertrykke et immunrespons, og det kan så måles på et andet sæt signalmolekyler. Overordnet kalder vi studiet af de forskellige molekyler for “biomarkør-profilering”, idet man laver en profil af hudens tilstand. Det kan være et vigtigt redskab til at undersøge, hvordan kroppen reagerer på nye potentielle lægemiddelstoffer for at vurdere, om man ser den ønskede effekt, eller om der opstår uventede bivirkninger.

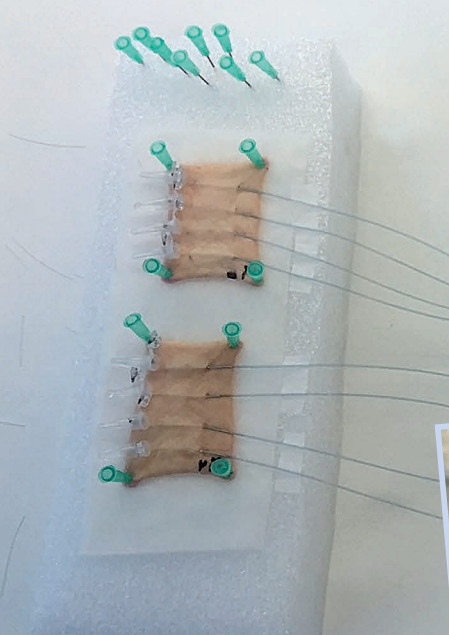
Mikrodialyse

Man har traditionelt set målt tilstedeværelsen af biomarkører i blodprøver. Men hvad nu hvis man udvikler medicin til at kurere en hudsygdom – vil

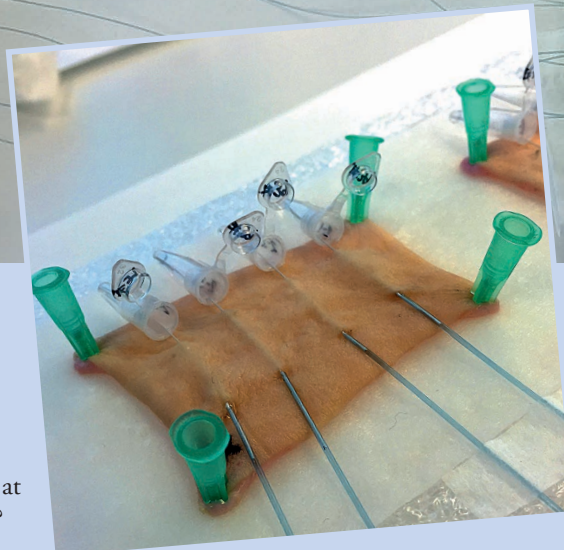
Om forfatteren



Katrine Yderstræde Baumann er cand. scient. i Molekylær Biomedicin Københavns Universitet, og lavede sit specialeprojekt i samarbejde med RefLab ApS
kybaumann@gmail.com



Fotos: Katrine Baumann



det så ikke være mere relevant at måle på huden fremfor blodet?

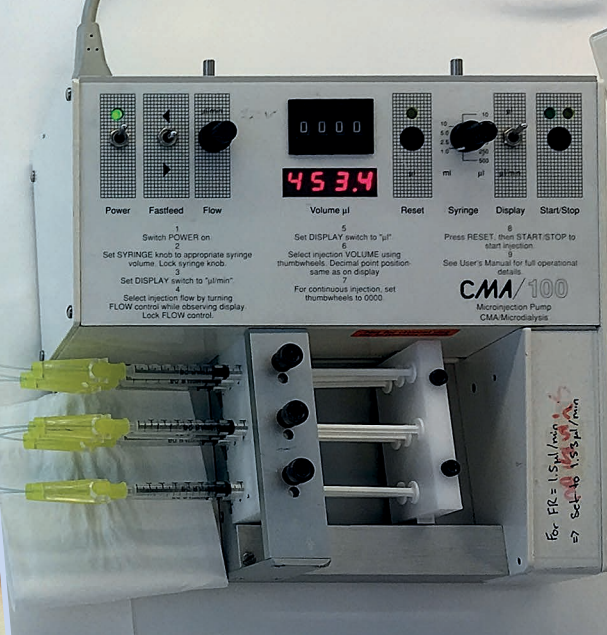
I dag er den helt store udfordring at få adgang til cellerne i huden uden samtidig at lave alt for megen ravage. Hvis man beskadiger celler, vil de helt automatisk udsende en masse forskellige signalmolekyler, som kan forstyrre billedet af det, man ellers ønsker at undersøge. Derfor har vi brug for helt særlige teknikker til at undersøge celler, der stadig sidder i intakt væv – og her kommer mikrodialyse ind i billedet.

Mikrodialyse er en måleteknik, der skader vævet mindst muligt. Vi lægger hule fibre med mikroskopiske huller ind i huden og gennemskyller dem med en særlig væske, der minder om hudens egen. På den måde kan vi opsamle en lille del af de forskellige molekyler, som cellerne har frigivet i huden, og efterfølgende kan vi analysere den opsamlede væske som var det en blodprøve. Når vi anvender denne metode på bortopereret hud, kan vi desuden undersøge effekten af stoffer, hvis virkning endnu er ukendt – helt uden at udsætte levende mennesker for potentielle bivirkninger.

Mikrodialyse-teknikken er en meget specialiseret teknik, som stadig er under udvikling, og en lang række forhold kan påvirke resultatet. Derfor er det en god idé at sammenligne med andre mere kendte metoder for at danne sig et endnu mere nuanceret billede af, hvad teknikken kan, og hvad der sker i huden.

Kombination af teknikker er vejen frem

Man er tit interesseret i at vide præcis hvilke celle typer, der udsender bestemte markører, men når man måler med mikrodialyse, opsamler man markører udskilt fra alle de celler, der er til stede



Signalmolekyler, der frigives fra hudens celler, kan opsamles i små rør ved at lægge mikrodialyse-fibre ind i bortopereret hud som set på billederne.

Mikrodialyse-fiberen er koblet til en pumpe (til højre), der gennemskyller fiberen med en væske.

En koncentrationsgradient gør, at man kan opsamle forskellige molekyler i små rør for enden af fiberen.

omkring fiberen. Det er altså svært at sige noget om, hvorvidt det særligt er fx T-celler, der reagerer. Derfor har vi eksperimenteret med at analysere hudens T-celler ved simpelthen at gro dem ud af huden henover nogle uger. Når de først er isoleret, kan vi tilsætte det stof, vi vil undersøge effekten af, for så at måle på T-cellernes reaktion.

En anden måde vi analyserer hudens celler på er ved enten at indsprøjte eller påsmøre det stof, vi vil undersøge, inden vi stikker biopsier ud af huden. Derefter kan vi måle, hvilke markører der bliver udskilt fra hud-biopsien som følge af stimulationen med stoffet. En ulempe ved at bruge biopsier er dog, at der allerede ved udstikningen af biopsierne sker skade på huden, hvilket kan forstyrre den efterfølgende analyse.

En ulempe ved at anvende isolerede T-celler er, at vi mister muligheden for at kunne undersøge vekselvirkningen mellem flere forskellige celletyper, modsat når vi bruger mikrodialyse-teknikken i et stykke hud, hvor alle celletyper er repræsenteret. Man skal dog huske, at mikrodialyse er en følsom teknik, der kræver megen ekspertise for at give retvisende resultater. Derfor er en kombination af flere teknikker en god fremgangsmåde, når vi vil undersøge immunreaktioner og vurdere, om et nyt lægemiddel er sikkert at afprøve på levende mennesker.

På denne måde bliver overskydende hud, der ellers var endt som operationsaffald, brugt til forskning, der kan komme alle til gavn.

Videre læsning:

Artiklen er baseret på en artikel skrevet til et symposium for studerende, der har modtaget et såkaldt scholar-stipendium fra Novo Nordisk eller Novozymes.



Maj-Gøgeurt på Nydam.

Foto: Flemming Rune

Skovengen blomstrer

Om sommeren blomstrer 150 arter på skovengen Nydam midt i Grib Skov og lokker flokke af gæster og insektbestøvere til. Skønheden er genskabt af frivillige lesvingere, som for 17 år siden gik løs på kvælende græsser og har formået at tredoble artsrigdommen.

Om forfatterne



Henrik Jørgensen, biolog, Danmarks Naturfredningsforening. Han er en af initiativtagerne til høslætlaug og har i alle årene været dets oldermann og optalt plantearterne. hej@dn.dk



Kaj Sand-Jensen, professor Ferskvandsbiologisk Sektion, Københavns Universitet. Han har analyseret jordbunden og lavet vegetationsanalyserne beskrevet i artiklen. ksandjensen@bio.ku.dk

Opsøg skovengen Nydam i Grib Skov i juni måned. Da lyser Trævlekrone rødt over hele engen, og Skov-Æble og Tjørn blomstrer i kanten. Følger du stierne ud i herligheden, kan du møde 150 plantearter, summende bier, flagrende sommerfugle, hoppende springfrøer og hvæsende tornskader i slåenkrattet.

At skabe naturskønhed i et arbejdsfælleskab var netop formålet, da Strøgårdsvangs Høslætlaug blev stiftet i 1999 og kastede sig over genopretningen af den 0,6 hektar ha store Nydam, som allerede var indledt af statsskoven tre år tidligere. Høslætlaug blev hurtigt populært med et halvt hundrede deltagere. Den store fælles arbejdsdag omkring 1. juli afsluttes med festmiddag på dådyrdragout og lokal øl. De mest ihærdige lægger flere arbejdstimer ved efterslættet i september.

Igennem flere hundrede år har Nydam i lighed med mange andre enge i Grib Skov produceret hø til de berømte Frederiksborgsheste på det kongelige stutteri på Frederiksborg. Efter stutteriet blev nedlagt i 1871, blev engen fortsat benyttet af skovens folk til høslæt, men efter 2. Verdenskrig var det endegyldigt slut. Fremskyndet af kvælstofforureningen fra luften voksede engen til i meterhøje græsser, som kvalte det meste anden vegetation. Dog overlevede en del arter i få eksemplarer. Derfor blev Nydam valgt til naturgenopretning, da leerne atter blev hvæssede.

Ideen var, at man ved at slå arealet med le to gange årligt og bortkøre høet ville reducere næringskapitalen og fjerne dominansen af store græsser – især Rørgræs og Eng-Rørhvene. Derefter skulle flere engblomster indvandre og brede sig på bekost-



Sommerhøslæt i kanten af Nydam.

Foto: Anne Johannisson

Restaurering af enge

Enge er en af de mest artsrige naturtyper for planter, insekter og fugle. De var tidligere særdeles udbredte i Danmark og det øvrige Europa før dræning, gødsning og omlægning til korn dyrkning satte ind. Nydam er blevet restaureret ved høslæt ved midsommer og igen i det tidlige efterår. Generelle erfaringer ude i Europa – især Belgien, Holland og Polen – viser nemlig, at et enkelt høslæt om sommeren ofte er utilstrækkeligt til at knække de høje arters dominans og reducere næringspuljen i jorden. Hvis en eng er blevet drænet, så grundvandet står dybt, må en høj grundvandstand retableres, hvis høslæt skal bibringe høj biodiversitet. Hvis næringsrigt grundvand eller overfladevand løber til engen, genvinder den heller ikke sin oprindelige vegetation, og biodiversiteten forbliver lav selv

ved høslæt. Så må der sikres tilførsel af næringsfattigt vand. Man kan speede den positive udvikling i biodiversiteten op ved at skrælle overfladejorden af – herved fjernes både næringsstoffer og frøpuljen af de store dominerende arter.

De oprindelige og ønskede arter kommer ikke nødvendigvis tilbage selv om de fysiske og kemiske forudsætninger i jorden bliver genskabt. Udenlandske erfaringer viser, at deres etablering kan fremmes ved at udså frø direkte eller sprede hø fra enge, hvor de allerede vokser. Men høet skal spredes flere gange om året, da tidspunktet for blomstring og frøspætning varierer meget fra art til art. Og det tilførte hø skal selvfølgelig fjernes igen. En arbejdstung affære.

Høslæt mindsker jordens næringspulje

Jordbundens indhold af organisk stof og plantetilgængeligt fosfor er på 17 år faldet til det halve i den slåede eng, fordi vegetationen høstes, så der ikke tilføres overjordisk dødt plantemateriale til jorden. Indholdet af plantetilgængeligt kvælstof er blot faldet med en fjerdedel. Mindre organisk stof og tilgængelig næring i jorden har kunnet fremme frøspiring for alle arter og forbedre levevilkårene for især nøjsomme arter. Men de direkte forstyrrelser ved leslåning har sandsynligvis også været vigtige for at udvikle den rigere vegetation. Men fortsætter vi med at slå vegetationen og fjerne høet også i de næste årtier, vil faldende næringsforsyning under alle omstændigheder blive stadigt vigtigere for artssammensætningen på engen.

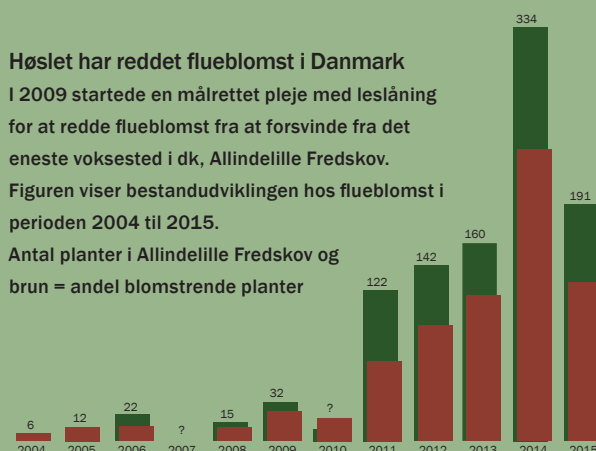
Tabellen til højre viser:

Indholdet af organisk stof, plantetilgængeligt fosfor og kvælstof (ammonium + nitrat) i de øverste 5 cm af jorden i Nydam på den slåede eng og i et uslået hjørne:

Høslæt har reddet flueblomst i Danmark

I 2009 startede en målrettet pleje med leslåning for at redde flueblomst fra at forsvinde fra det eneste voksested i dk, Allindelille Fredskov. Figuren viser bestandudviklingen hos flueblomst i perioden 2004 til 2015.

Antal planter i Allindelille Fredskov og brun = andel blomstrende planter



	Uslået hjørne	Slået eng
Organisk stof (% af tørstof i jorden)	34,4	19,3
Plantetilgængeligt fosfat (µg P per g frisk jord)	2,54	1,33
Plantetilgængeligt kvælstof (µg N per g frisk jord)	16,2	11,5



Høslæt i forgrunden og høet i hæs i baggrunden.

Foto: Flemming Rune

ning af de tidligere så dominerende høje græsser. Da mange arter i Danmarks flora er små nøjsomhedsplanter, ville de have fordel af såvel forstyrrelse som mindsket næringskapital i modsætning til de høje næringskrævende arter. Initiativet skulle også fremme insektlivet, da flere plantearter betyder flere værtsplanter til blandt andet sommerfuglelarver og flere blomster at samle pollen og suge nektar på.

Nye arter myldrer ind

Lavere vegetation og mange flere plantearter var tidligt det åbenlyse resultat af høslættet på Nydam. Vegetationen blev mere åben og solvarmen kunne nå ned til jordoverfladen og fremme frøspiring. Lesvingernes besøg på andre naturlokaliteter har sikkert bragt frø til Nydam skjult i bukseopslag. Den nu mere saftige urtevegetation har også tiltrukket hjortevildt, som har kunnet sprede frø til Nydam fra et stort område. Mange arter har vokset på engen i fortiden, men var blevet udkonkurrerede af de høje græsarter. Man ved, at frø af oprindelige engarter ofte forsvinder fra frøbanken i jorden, da deres levetid er kort. De oprindelige arter kan derfor ikke bare spire frem, selv om levevilkårene for dem igen bliver gunstige. Derfor forbliver vegetationen ofte domineret af vidtudbredte triviale arter, mens de eftertragtede engarter kun langsomt vinder frem. Når orkideer og andre sjældenheder trods svære odds alligevel har etableret sig på Nydam, er lærerne gået uden om dem om sommeren, så de nåede at sætte frø, inden al vegetation blev slået i efteråret.

Siden leslåningen begyndte på Nydam, har der over årene været en ubrudt stigning i det samlede artstal af karplanter fra de oprindelige 59 arter til nu omkring 150 arter. Hovedgrupperne har udviklet sig forskelligt. Græsser dominerer i næsten alle lysåbne naturtyper. De oprindelige 11 græsarter på Nydam er forøget til 21. Græsarten Eng-Rævehale er karakterplante for høslætte og var her fra begyndelsen, mens det delikate Hjertegræs først

dukkede op efter 15 år. Oprindeligt var her heller ingen orkideer. Men nu er der efterhånden kommet 8 arter til, blandt andet sjældenhederne Priklæbet- og Purpur-Gøgeurt. Maj-Gøgeurt blomstrer i hundredvis på engen. Af andre særligt eftertragtede engarter er Leverurt, Seline og Tvebo Baldrian også dukket op.

Halvgræsser i slægten Star er populær blandt botaniske nørder. Fra ingen arter overhovedet er der nu etableret 10-12 arter. De vokser delvis i adskilte bestande og skaber en mosaik af baggrundsfarver fra frisk grøn hos Blære-Star, mat grågrøn hos Hirse Star til mørkegrøn hos Almindelig Star. Grønt er ikke bare grønt, men kan ses i mange nuancer på Nydam.

Flere nøjsomhedsarter

Lavere vegetation og flere nøjsomme arter viser, at det er lykkedes at knække de høje græssers dominans. De er ikke forsvundet, men fra at måle over 1 meter og stå tæt, er de nu under 40 cm og står meget spredt. Ærteblomster såsom Rød Kløver, Hvid Kløver og Gul Fladbælg er blevet hyppigere på engen med årene. De har samarbejde med knoldbakterier, som kan fiksere luftens kvælstof. Herved opnår de en konkurrencefordel, når jordens kvælstofindhold falder.

Det er muligt at vurdere næringskravene hos samtlige arter på engen. Tyskeren Heinz Ellenberg har nemlig angivet næringsforholdene på det dominerende voksested (såkaldt Ellenberg-N værdier) hos de fleste europæiske plantearter. Arterne fordeles sig på en skala fra 1 hos de mest nøjsomme, til 9 hos de mest næringskrævende. Det er vigtigt at huske, at langt de fleste plantearter vokser hurtigere og bliver større ved øget næringstilførsel. Men de nøjsomme arter dominerer kun under næringsfattige forhold, hvor næringskrævende arter er hæmmet. De nøjsomme arter udkonkurreres til gengæld under næringsrige forhold uden høslæt eller græsning.

Antal arter er øget indenfor næsten alle Ellenberg-N kategorier på Nydam i løbet af de 17 år. Der er generelt blevet plads til flere arter – både de nøjsomme og de næringskrævende – ved de gentagne forstyrrelser ved leslåning, der især hæmmer de højeste arter. I de allersneste 7 år er der imidlertid ikke kommet flere næringskrævende arter til, hvorimod de nøjsomme arter fortsat er øget markant i antal. Derfor er det gennemsnitlige Ellenberg-N indeks beregnet for samtlige arter på engen i hvert enkelt år faldet støt gennem perioden fra 5,6 til 4,6.

Denne udvikling kan skyldes, at svækkelsen af de høje dominerende arter er en gradvis proces, ligesom vilkårene for indvandring og etablering af nye nøjsomme arter gradvist er blevet bedre gennem



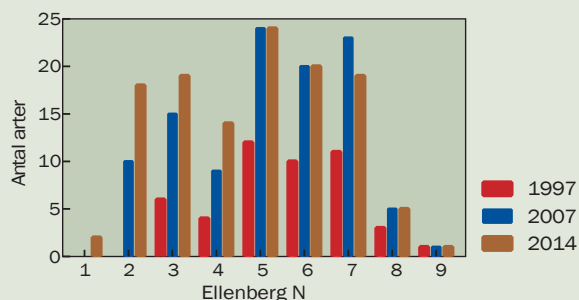
Rig engvegetation med bl.a. rød Trævekrone og gule ranunkler.

Foto: Anne Johannisson

Nydam: Flere arter fra alle næringskategorier

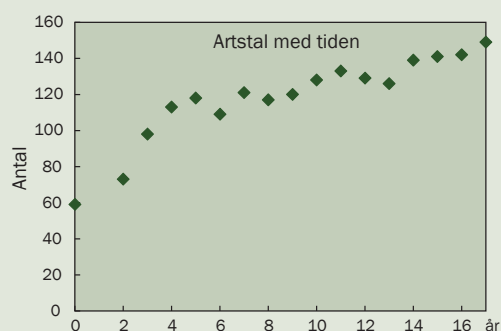
Den traditionelle konklusion på vegetationsændringer ved høslæt er ofte, at det faldende gennemsnitlige Ellenberg-N indeks alene skyldes mindre næring i jorden, fordi de næringsholdige grønne dele fjernes en eller to gange årligt. Derved kan de nøjsomme arter opnå en konkurrencefordel, fordi de bedre tåler et lavt næringsindhold og bedre holder hus med næringsstofferne end mere næringskrævende arter.

Men så enkelt er det ikke. Både de nøjsomme og de mere krævede arter blev mere talrige i de første 10 år med høslæt på Nydam svarende til omkring 6-12 flere arter for alle Ellenberg-N værdier mellem 2 og 7. I de sidste 7 år steg artstallet fortsat i Ellenberg-N værdierne 2-4 for nøjsomme arter, mens der ikke kom flere arter til for værdier mellem 5

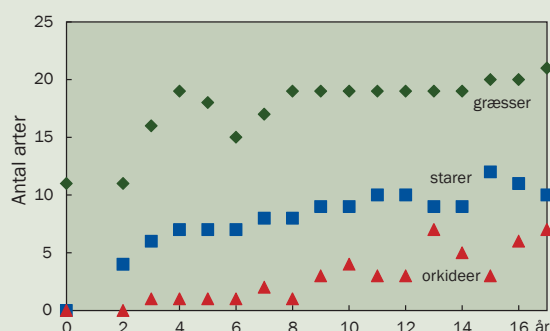


og 8. Denne udvikling kan skyldes, at svækkelsen af de høje dominerende arter er en gradvis proces, ligesom vilkårene for indvandring og etablering af nye nøjsomme arter gradvist er blevet bedre gennem perioden.

Flere arter med tiden



Det stigende antal arter af karplanter på den slåede skoveng, Nydam fra 1997 til 2014 viser naturgenopretnings succes.



Artstallet af græsser er nogenlunde fordoblet på Nydam gennem de 17 år. De mere nøjsomme orkideer og storer manglede oprindeligt, men er efterhånden indvandret i betydeligt tal.

Den svenske "leprofessor" Kjell Gustafsson inspirerede til dannelsen af Danmarks første høslætlaug på et engkursus i 1998. Det ses tydeligt, hvor højt og ensformigt græsset på Nydam var dengang.

Foto Henrik Jørgensen



perioden. Særlige forhold gør sig gældende for orkidéer. De har meget små frø, som først skal skabe kontakt med svampehyfer, der leverer stof til at udvikle orkideernes underjordiske dele. Først efter nogle år danner orkideerne grønne blade, og endnu senere blomstrer de.

En kombination af de to mekanismer – forstyrrelse af især de høje arter og gradvis reduktion af næringspuljen – er derfor den mest sandsynlige forklaring på arternes udvikling på Nydam. Fremgangen blandt både nøjsomme og næringskrævende arter tidligt i perioden peger på betydningen af forstyrrelse. Den fortsatte fremgang for de nøjsomme arter også til slut i perioden peger på, at reduktion af næringspuljen også er vigtig.

Den slåede eng og et uslået hjørne

Men ved vi overhovedet, om jordens næringspulje er blevet mindre? Vi har ikke målt næringsindholdet i jorden, før høslættet begyndte, ej heller undervejs, og kan derfor ikke direkte dokumentere udviklingen. Men den kan alligevel vurderes ved at sammenligne forholdene på den slåede eng med et hjørne af engen, der er forblevet uslået gennem alle 17 år.

Sammenligningen viser, at der vokser omkring 20 arter til maksimalt 35 cm's højde i små 0,25 m² kvadrater på den slåede eng. Derimod vokser blot 5 arter, men til mere end 100 cm's højde, i kvadrater af samme størrelse i det uslåede hjørne. Her udgør den meterhøje Eng-Rørhvene langt det meste af vegetationen. Jordens indhold af organisk stof og fosfor på den slåede eng er i dag omtrent det halve af indholdet på den uslåede, så slåningen har reduceret næringsindholdet markant.

Enge og overdrev i flor

Ser vi ud over det fede danske landskab, så er enge, overdrev, grøftekanter og skovbryn overalt blevet fattigere på arter i løbet af de sidste 100 år. Danmarks flora har det skidt. Forklaringen er, at vegetationen er blevet kunstgødnet, har fået mere næring fra luften og tillige oplever mindre forstyrrelse ved høslæt og græsning. Derfor vokser naturen til med nogle få næringselskende græsser og andre høje urter, som kvæler et større antal arter tilpasset fattigere eller mere forstyrrede forhold.

På Nydam har høslæt vendt nedturen i biodiversiteten til optur. Naturgenopretning ved frivillige kræfter ud over landet har skabt tilsvarende positive fremskridt. En særlig opsigtsvækkende indsats for Danmarks natur er høslættet i den kalkrige Allindelille Fredskov nord for Ringsted. Lokaliteten er Danmarks eneste for Flueblomst. Denne orkidés blomster ligner og dufter som hunnerne af en gravhveps, hvorfor hannerne forsøger at parre sig med blomsten og derved bestøver den. I 2008 var der blot 11 blomstrende eksemplarer tilbage i Allindelille. I 2014 havde høslæt øget antallet til 236 på den lysåbne løveng, som med spredte buske og træer minder om noget, vi ellers kun ser på 1800-tallets guldaldermalerier.

Flueblomst er foreløbig reddet fra at uddø i Danmark. Men ødelæggelser er ikke altid fuldt reversible. Nedturen kan have været for voldsom og varet for længe, så plantearter er forsvundet både som grønne planter og frø i jorden. Er arterne først blevet meget sjældne i det omgivende landskab, kommer de måske aldrig tilbage ved egen kraft, selv om livsbetingelserne igen skulle blive gunstige. Man kan aktivt hjælpe arterne tilbage ved at sprede hø fra lokaliteter, hvor de fortsat vokser. Man kan også direkte høste frø af arter, som tidligere voksede på stedet, og sprede dem, hvis der er for få i bukseopslagene og i hjortenes pels. Men det bedste er selvfølgelig, at arterne vender tilbage ved egen kraft, så vi bevarer fornemmelsen af fortsat at have en vild og dynamisk natur i Danmark.

De frivillige på Nydam har slået med le i to årtier og har oplevet blomsterpragten vende tilbage. Vi vil se med forståelse på, at man andre steder rækker Leverurt og Maj-Gøgeurt en hjælpende hånd ved frøspredning, for de hører til på engene og voksede her i flere hundrede år sammen med andre 200 arter. Det er ikke motiverende at skabe muligheder for indvandring af flere nye plantearter, hvis det udelukkende er trivielle gylleplanter som Fandens Mælkebøtte og Vild Kørvel, der dukker op. De har sat sig massivt på det omgivende fede danske landskab og dermed skabt sig en særlig spredningsfordel, så de endog kan besætte genoprettede naturlokaliteter. ■



HAR DU VALGT EN UDDANNELSE



Københavns Universitet tilbyder 21 natur- og biovidenskabelige bacheloruddannelser. Bygger du videre på din viden efter bacheloruddannelsen, har vi 33 kandidatuddannelser, der kan føre til hundredevis af karrieremuligheder. Husk ansøgningsfristen den 5. juli.

Læs mere og se film om vores uddannelser og dine mange muligheder på **DINFREMTID.KU.DK**

21 NATURVIDENSKABELIGE BACHELORUDDANNELSER:

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

BESØG OS PÅ FACEBOOK OG INSTAGRAM OG FÅ MERE INFO OM STUDIELIVET PÅ UDDANNELSERNE:

 Læs på SCIENCE

 @scienceku

KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET



På sporet af det mørke stof

Det er mere end 80 år siden, at fysikere indså, at der er meget mere masse i Universet, end man umiddelbart kan se. Endnu har vi ikke afsløret, hvad dette "mørke stof" er for noget, men en eksperimentel påvisning af det ligger måske ikke langt ude i fremtiden.

I 1933 studerede den schweizisk-amerikansk astrofysiker Fritz Zwicky en klynge af galakser kaldet Coma. Ved hjælp af den velkendte Dopplertechnik kunne han udlede hastigheden af de individuelle galakser inden for klyngen. Ved at bruge en sætning i den klassiske mekanik, der forbinder den kinetiske energi af et bundet system med dets gravitationelle potentielle energi (virial-sætningen), gjorde Zwicky en overraskende opdagelse: Den synlige masse af galaksehoben var ikke nok til at holde den sammen. Galaksehoben havde tilsyneladende brug for en hel del ekstra – og usynlig – masse for at holde sammen på topperne.

Siden har en række andre observationer indirekte bekræftet eksistensen af *mørkt stof*, som er blevet betegnelsen for “den manglende masse af universet”, som Zwicky observerede. Mørkt stof er i dag et varmt emne indenfor både den teoretiske og eksperimentelle forskning. Det er dog udelukkende påvist gennem tyngdeeffekter. Derfor arbejder en lang række eksperimentelle kollaborationer ihærdigt på at afsløre, hvilke partikelegenskaber det hypotetiske mørke stof besidder. Det står klart, at der kræves uhyre følsomme detektorer for at finde det mørke stof, men grænserne for eksperimentel formåen rykkes hurtigt, og muligvis ligger opdagelsen af mørkt stof lige rundt om hjørnet. Dette vil være et stort fremskridt i vores bestræbelser på at forstå strukturen af Universet og dets udvikling fra Big Bang til i dag. Det vil også kaste lys over, hvordan naturen fungerer på det mest grundlæggende niveau af elementarpartikler. En forståelse af mørkt stof kan måske også vise sig at være nøglen til en forening af de fundamentale kræfter.

Ingen oplagte kandidater

Hidtil er eksistensen af mørkt stof udelukkende påvist via den gravitationelle virkning, som mørkt stof har på galakser og galaksehobe. Men hvad er mørkt stof? Partikelfysikkens såkaldte *standard-model* tilbyder kun én partikel, der i princippet kan spille rollen som mørkt stof, nemlig neutrinoen.

Neutrinoer er notorisk svære at observere, fordi de ikke har en elektrisk ladning og kun meget svagt vekselvirker med stof. Men neutrinoer bevæger sig med relativistiske hastigheder, dvs. tæt på lysets hastighed, og hvis mørkt stof bestod af neutrinoer, ville de simpelthen udvaske de små strukturer i Universet. Desuden har neutrinoer den egenskab, at de ikke kan være i samme kvantetilstand. Det medfører, at den estimerede mængde af mørkt stof i dværggalakser er sådan, at hvis mørkt stof består af neutrinoer, ville de simpelthen ikke passe inde i disse dværggalakser.

Der er også den mulighed, at mørkt stof udgøres af sorte huller, kompakte stjerner eller store planeter. Denne forklaring er dog heller ikke særlig attraktiv. Observationer med en teknik kaldet gravitationslinsning tyder på, at sådanne objekter ikke kan udgøre mere end ca. 20 % af mørkt stof. Men hvordan kan vi afklare det mørke stofs natur? Der er i øjeblikket tre forskellige eksperimentelle tilgange til at undersøge mørkt stof, som med et rapt engelsk rim kan sammenfattes “*make it, shake it or break it*”. Lad os betragte disse tre tilgange i lidt mere detalje.

At lave mørkt stof

Ved Large Hadron Collider (LHC) ved CERN accelererer forskerne protoner op til ekstreme energier og bringer dem til at kolliderer med hinanden. Forskerne studerer produkterne af disse kollisioner i håbet om at opdage ny fysik og nye partikler. Hvis der er energi nok i kollisionen, vil der i princippet kunne dannes et par af en partikel af mørkt stof og en partikel af anti-mørkt stof i eksperimenterne ved CERN. Problemet er så, at mørkt stof som nævnt vekselvirker meget svagt med almindeligt stof, og derfor vil det være meget svært at måle, selvom det faktisk bliver produceret i eksperimenterne. Men det er der heldigvis råd for!

Vi kender energien af protonerne, før de kolliderer, og vi kan måle den totale energi af alle de produkter, der kommer ud af kollisionen – med und-

Forfatterne



Chris Kouvaris er lektor
kouvaris@cp3.dias.sdu.dk



Niklas Grønlund Nielsen
Er ph.d.-studerende
ngnielsen@cp3.dias.sdu.dk

Begge ved grundforskningscenteret CP³-origins, Syddansk universitet

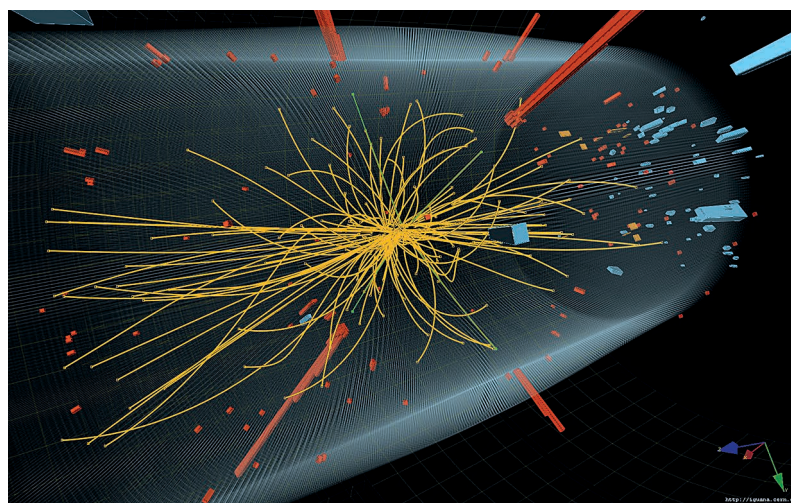
Forfatterne forsker primært i at udvikle teoretiske modeller for mørkt stof og i at opfinde metoder, hvormed modellerne kan afprøves.

← Foto af den centrale del af galaksehoben Coma. Det var studier af hastigheden af de enkelte galakser i denne klynge, der ledte astronomen Fritz Zwicky til at konkludere, at der tilsyneladende manglede masse i universet. Billedet er lavet ved at sammensætte observationer foretaget med hhv. synligt lys og infrarødt lys.

NASA/JPL-Caltech/L.Jenkins (GSFC)

→ I lighed med, at det ved hjælp af acceleratoren LHC ved CERN er lykkedes forskerne at påvise Higgs-partiklen, vil det i princippet også være muligt at afsløre partikler af mørk i eksperimenterne. Figuren viser, hvordan data fra kollisionerne (her mellem to protoner i den såkaldte CMS-detektor) tager sig ud for forskerne.

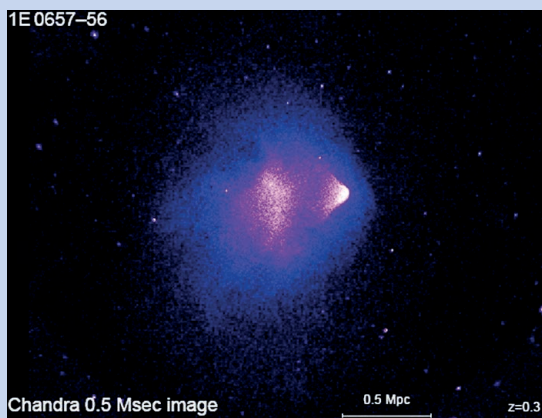
Illustration: CERN



Indicier på eksistensen af mørkt stof

Røntgenfoto af kugleklyngen taget af Chandra-rumteleskopet.

Foto: Nasa



Observationer af galaksehobe viser, at den synlige masse ikke er nok til at holde dem sammen. Det viste Fritz Zwicky allerede i 1933. Senere påviste astronomen Vera Rubin i 1970, at hastigheden af stjerner, der roterede omkring centrum af vores nabogalakse Andromeda-galaksen, tilsyneladende ikke følger newtonsk dynamik. Observationerne kan forklares med, at mørkt stof bidrager med ekstra masse – og dermed tyngkraft.

Ud fra spektret af den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling kan man udlede mængden af baryonisk stof i Universet

(dvs. de almindelige atomer, som alt stof, vi kan "se", er opbygget af) og den totale mængde stof. Hvis man trækker mængden af baryonisk stof fra den totale mængde stof, giver det en rest. Denne rest er et skøn over mængden af mørkt stof.

Numeriske simuleringer af strukturerne i Universet viser, at de galakser, vi kan observere i dag, ikke ville være opstået hvis der kun fandtes lysende, baryonisk stof. Det kræver med andre ord, at der er ekstra materiale til stede – dvs. mørkt stof – for at forklare de fine strukturer i Universet.

Kugleklyngen (Bullet Cluster) er en klynge af galakser, der består af to mindre klynger, der er kollideret med hinanden. Med røntgenspektroskopi kan man afsløre det område i dette system, hvor det baryoniske stof og leptoner (fx elektroner) er koncentreret, da dette stof udsender røntgenstråler. Med en anden teknik kaldet "gravitationslinsning" kan man lokalisere det område, hvor det meste af massen af systemet er koncentreret. Og det har vist sig, at disse to områder ikke er det samme. Det betyder, at det meste af massen er placeret i den del, der ikke producerer mange røntgenstråler. Sammenstødet mellem de to galakseklynger har med andre ord ført til, at mørkt stof og baryonisk stof mere eller mindre er blevet adskilt.

tagelse af det, som udgøres af neutrinoer og mørkt stof. Ethvert underskud i energi mellem situationen før og efter kollisionen kan altså simpelthen tilskrives enten mørkt stof og/eller neutrinoer.

Da vi ved præcis, hvor stærkt neutrinoer vekselvirker med stof, kan vi regne ud, hvor meget energi der mangler på grund af partikler af mørkt stof produceret i kollisionen.

Normalt er man i LHC-eksperimenterne på udkig efter unikke signaler, hvor kollisionen har skabt en enkelt foton med meget høj energi eller efter en såkaldt jet (en hel kaskade af energirige partikler langs en bestemt retning) med en ubalance mellem energi før og efter kollisionen. Hidtil har forskerne dog ikke observeret noget ud over det normale. Det kan enten betyde, at der simpelthen ikke er energi nok i kollisionerne til at skabe et partikelpar af mørkt stof og anti-mørkt stof, eller at sandsynligheden for at skabe et sådant partikelpar er så lille, at vi endnu ikke har set et signal i det indsamlede data.

At se "rystelserne" fra mørkt stof

Der er store mængder mørkt stof i vores galakse, og derfor burde det være en almindelig begivenhed, at partikler af mørkt stof passerer Jordens over-

flade. I stedet for selv at producere mørkt stof, kan man derfor forsøge at observere en direkte kollision mellem en partikel af mørkt stof og en atomkerne i en detektor. Hvor sandsynligt det er, afhænger af tre faktorer: 1) hvor hyppigt partikler af mørkt stof faktisk besøger Jorden 2) styrken af vekselvirkningen mellem en partikel af mørkt stof og atomkerne i detektoren og 3) eksponering af detektoren – dvs. hvor stor detektoren er, og hvor længe, vi venter på en begivenhed.

Da partikler af mørkt stof netop ikke vekselvirker kraftigt med almindeligt stof, kan vi ikke forvente at se mange begivenheder i en jordbaseret detektor. Og så er der også et andet problem: Detektorer for mørkt stof registrerer "rekyl-begivenheder", dvs. hvor en partikel af mørkt stof slås tilbage, når den kolliderer med en atomkerne. Men gammastråling, elektroner og neutroner fra kosmiske stråler, naturlig radioaktivitet og anden baggrundsstråling fra menneskelige aktiviteter kan producere tilsvarende signaler i detektoren og helt overskygge et signal fra mørkt stof. Det er grunden til, at detektorerne placeres i gamle miner et par kilometer under jorden. De tykke klippelag afskærmer det meste af strålingen, så det kun er neutrinoer og mørkt stof, der kan nå detektoren.

IDA Forsikring
idaforsikring.dk

IDA forsikring er tegnet gennem IDA Forsikring - Ingeniørernes Forsikringsgruppe, forsideagentvirksomhed, sinedk

OVERRASKENDE BILLIG LØNSIKRING

IDA Lønsikring er en rigtig god investering i dig selv og din familie. Du er sikret op til 85 % af din løn, hvis du bliver afskediget. Det er der ikke noget nyt i, men det er nyt, at forsikringen netop er blevet yderligere 20 % billigere.

LÆS MERE PÅ IDAFORSIKRING.DK/LØNSIKRING

FRA 33 KR. OM MÅNEDEN

UDBYDES I SAMARBEJDE MED
AKADEMIKERNES
ambitiøse AKASSE

Kun for ingeniører og cand.scient.er



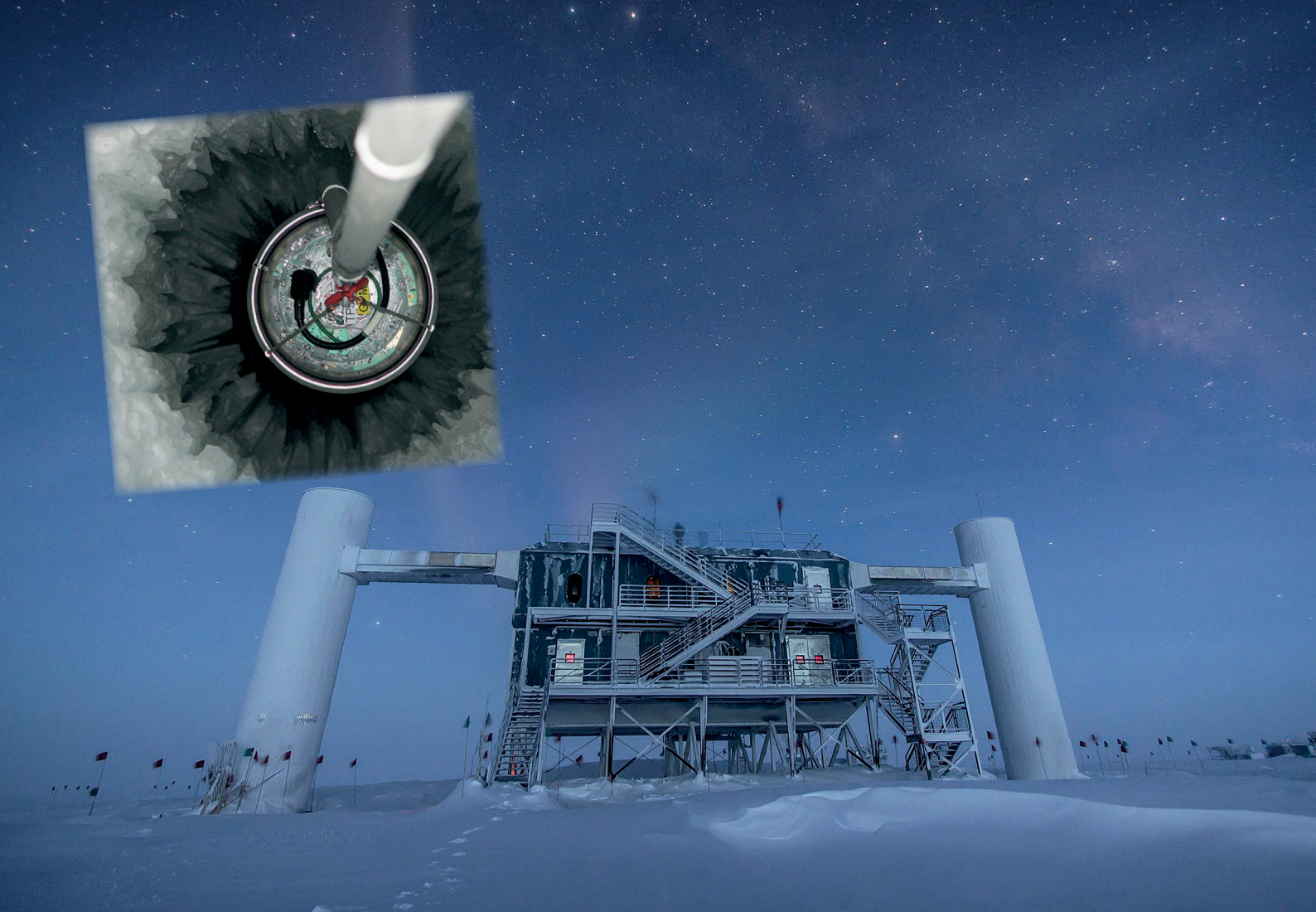
Vidste du, at 1/3 af RUC's kandidater i naturvidenskab bliver forskere?

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

Læs mere på Roskilde Universitets hjemmeside
www.ruc.dk/natbachelor



Science på RUC
Naturvidenskab i virkeligheden



Eksperimentet IceCube er placeret ved Amundsen-Scott-stationen i Antarktis og skal bl.a. lede efter signaler fra mørkt stof. Under bygningen findes selve detektoren dybt nede i isen, og den består af 86 lodrette "strenger" hver med 60 sensorer. På det andet foto ses en af disse sensorer i færd med at blive sænket ned i borehullet.

Fotos: Bygning: Felipe Pedreros, IceCube/NSF
Sensor: IceCube/NSF

Hidtil er det dog ikke lykkedes at måle mørkt stof endegyldigt i underjordiske detektorer. Det kan der være flere grunde til. Hvis partikler af mørkt stof er tunge, vil der kun være få af dem, og derfor vil strømmen af mørkt stof, der passerer gennem Jorden være lille. Det vil være håbløst at forsøgte at opdage en type partikel, der fx kun passerer Jordens overflade en enkelt gang pr. årti. Hvis partikler af mørkt stof omvendt er for lette, kan de være lige så svære at opdage. Selvom der ankommer masser af dem til Jorden hvert eneste sekund, vil de medbringe så lidt kinetisk energi, at det vil være meget svært – måske umuligt – for dem at udløse detektoren.

Der er selvfølgelig også den mulighed, at partikler af mørkt stof vekselvirker så svagt, at vores detektorer ikke er følsomme nok.

Under alle omstændigheder er det et tålmodighedsspil – jo længere tid, vi venter, jo større er sandsynligheden for at se en partikel. Men vi har selvfølgelig ikke uendelig mængder af tid til rådighed! Snart vil følsomheden af detektorerne være så fin, at de underjordiske detektorer vil blive overvældet af signaler fra neutrinoer. Derfor vil det blive nødvendigt med nye strategier, der kan skelne mellem signalet fra en neutrino og en partikel af mørkt stof i detektorerne.

At se mørkt stof gå i stykker

En tredje måde at måle mørkt stof på er at observere den indirekte signatur af mørkt stof, der tilintetgøres eller henfalder. Visse modeller for mørkt stof tillader, at to partikler af mørkt stof mødes og "udsletter" hinanden, hvorved der produceres mere almindelige partikler, der potentielt kan registreres på Jorden.

Der er også den mulighed, at mørkt stof kan henfalde til almindelige partikler. I et sådant scenarium må henfald af mørkt stof dog være en sjælden begivenhed. Mørkt stof må nødvendigvis have en levetid, der er længere end Universets alder, for ellers ville en for stor del af det mørke stof på nuværende tidspunkt være henfaldet.

Der er to steder i vores galakse, hvor tilintetgørelse og henfald af mørkt stof kan forekomme med højere rate i forhold til andre steder: i centrum af Mælkevejen og i Solen. I centrum af Mælkevejen forventes det, at der er en større tæthed af mørkt stof, hvorfor det her er mere sandsynligt, at partikler mødes og tilintetgøres. På grund af højere tætheder vil henfald af mørkt stof også være højere der. Hvad angår Solen kan partikler af mørkt stof blive fanget i Solens tyngdefelt, når de krydser Solens overflade. Partiklerne vil blive koncentreret i Solens kerne, hvilket vil betyde en større rate af begivenheder med mørkt-stof-tilintetgørelse og henfald her.

Flere eksperimenter forsøger at opdage sådanne indirekte signaler fra mørkt stof: røntgenteleskoper, antipartikel-detektorer på satellitter og neutrino-teleskoper på Jorden. Et af de mest imponerende eksperimenter er *IceCube*, som er placeret ved sydpolen to kilometer under isen. Et af formålene med dette eksperiment er at observere potentielle produkter af tilintetgørelse eller henfald af mørkt stof og genskabe den indkommende partikels vej mod Jorden.

Andre veje til opdagelse

Der er mange andre måder, at mørkt stof kan give anledning til signaler fra verdensrummet, som vi kan observere. Flere typer af kandidater til mørkt stof kan således opvarme, ødelægge eller ændre egenskaberne af almindelige stjerner. Derfor kan vi med astrofysiske observationer indkredse mulige signaler fra mørkt stof eller måske endda finde den "rygende pistol".

Alternativt kan det være, at den "mørke sektor" er meget mere kompliceret, end forskere normalt antager. Fx kunne mørkt stof bestå af mange slags partikler i stedet for én. Der kunne endda være nye naturkræfter, som medierer vekselvirkninger udelukkende imellem mørkt stof. Hvis mørkt stof er asymmetrisk (dvs. der er flere mørke partikler end mørke antipartikler) kunne strukturen af mørkt stof være meget indviklet. Man kunne forestille sig, at der eksisterer "mørke stjerner", som ikke udsender fotoner. Mørke stjerner ville i princippet kunne observeres, selv hvis mørkt stof kun vekselvirker

Konkurrerende teorier

Mørkt stof er i dag den mest realistiske forklaring på den "ekstra" tyngdekraft, som lysende stof i Universet ikke kan gøre rede for. Der findes dog andre forklaringer. Et prominent eksempel er MoND (Modificeret Newtons Dynamik). I MoND forestiller man sig, at tyngdekraften er Newtonsk på små skalaer, men ændrer sig på galaktiske afstande. Mørkt stof er dog i vore øjne den mest overbevisende forklaring, fordi den i modsætning til MoND samtidigt forklarer tyngdeeffekter på helt forskellige skalaer. Derudover forklarer mørkt stof smukt den observerede gravitationslinsning i forbindelse med Kugleklyngen (Bullet Cluster), som MoND-teorier ikke kan forklare.

med almindeligt stof gennem tyngdekraften. Det skyldes, at de kunne udsende gravitationel stråling gennem de såkaldte tyngdebølger. Tyngdebølger er dog meget svære at observere, og kun for nylig er de blevet observeret af LIGO-eksperimentet.

Vi har i de seneste år blandt andet arbejdet på at klassificere hvilke mørke stjerner, forskellige modeller for mørkt stof kan give anledning til. Den del af vores forskning bygger på håbet om, at mørkt stof er asymmetrisk af karakter, og at en mørk stjerne opdages i fremtiden. Opdagelsen af en sådan stjerne ville afsløre enormt meget omkring egenskaberne af det mørke stof. ■

Videre læsning

Populære artikler
Signe Riemer-Sørensen:
Jagten på det mørke stof.
Aktuel Naturvidenskab nr.
5/2007

Francesco Sannino: Univer-
sets lyse og mørke sider.
Aktuel Naturvidenskab nr.
5/2009

Rune Elgaard Mikkelsen,
Ulrik Ingerslev Uggerhøj: En
gigantisk isterning – lys-
glimt fra Antarktis dyb for-
tæller om kosmos. Aktuel
Naturvidenskab 4/2013

Videnskabelige artikler

Chris Kouvaris & Niklas
Grønland Nielsen: Asym-
metric Dark Matter Stars.
Phys.Rev. D92 (2015) no.6,
063526

Joshua Eby, Chris Kouva-
ris, Niklas Grønland Niel-
sen, L.C.R. Wijewardhana:
Boson Stars from Self-Inte-
racting Dark Matter. JHEP
1602 (2016) 028

21 INGENIØRUDDANNELSER



Ingeniørstuderende for en dag- arrangement d. 18. og 19. maj

Den 18. og 19. maj 2016 har gymnasieelever en særlig mulighed for at opleve ingeniøruddannelserne på SDU, når vi inviterer til et skræddersyet studerende for en dag-arrangement i Sønderborg og i Odense.

Hver elev vælger 1-2 uddannelser, hvorefter studerende fra de relevante uddannelser vil stå klar til at tage imod med faglig vejledning, rundvisning og en snak om det at være ingeniørstuderende. Måske er det noget for dine elever?

- Sønderborg: Onsdag d. 18. maj kl. 11-15
- Odense: Torsdag d. 19. maj kl. 11-15

Læs mere på:

www.sdu.dk/tek/studerendeforendag

Tilmelding og kontakt:

Tlf. 6550 7444 eller brobygning@tek.sdu.dk

Nb. Gymnasieelever har hele året rundt mulighed for at være ingeniørstuderende for en dag, før de bestemmer sig.



Omvendt fotosyntese

Foto: Colourbox

Forskere fra Københavns Universitet har opdaget en proces, der kan beskrives som omvendt fotosyntese. Denne opdagelse har store perspektiver, fx i forhold til fremstilling af biobrændstoffer ud fra plantemateriale på en langt mere effektiv og miljøvenlig måde end hidtil.

Forfatteren

Carsten R. Kjaer,
Aktuel Naturvidenskab
red@aktuelnaturvidenskab.dk

Lys fra Solen er en grund- ingrediens i opbygning af biomasse. Men solens lys kan ligeledes bruges til at nedbryde biomasse, har ny forskning vist.

Foto: Colourbox

Ved hjælp af lys fra solen, vand og næringsstoffer opbygger planterne deres biomasse i den proces, vi kender som fotosyntesen. Det vakte berettiget opsigt i både ind- og udland, da forskere fra Københavns Universitet for nylig i tidsskriftet *Nature Communications* kunne beskrive en slags omvendt fotosyntese. Dvs. hvor solens stråler sammen med klorofyl, oxygen og et bestemt metalholdigt enzym bruges til at nedbryde og omdanne kulstofforbindelserne i planterne.

Opdagelsen kan have mange praktiske anvendelser, da processen vil kunne bruges industrielt til hurtigt og effektivt at nedbryde plantebiomasse til simple sukkerstoffer, som efterfølgende omdannes til nyttige kemiske forbindelser som bioethanol. Ifølge professor Claus Felby fra Institut for Geovidenskab

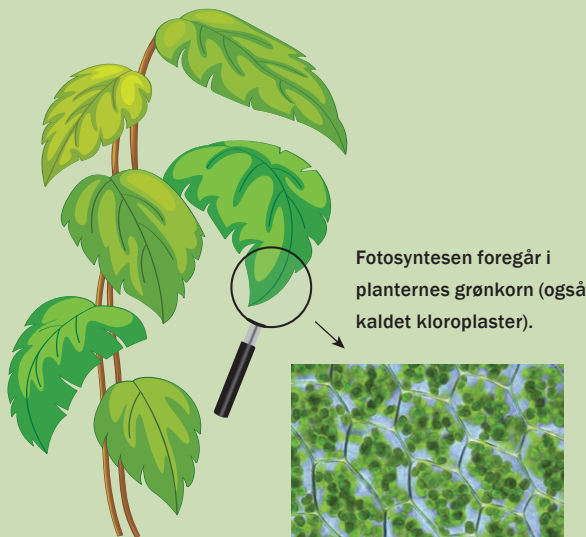
og Naturforvaltning på Københavns Universitet, som har stået i spidsen for forskningen, kan det nye resultat betyde en radikal ændring af den industrielle produktion af brændstoffer og kemikalier i en både mere effektiv og bæredygtig retning. I industriel katalyse indgår der ofte både høje temperaturer og høje tryk.

På baggrund af forskernes nye opdagelse vil man kunne udnytte den høje energi i solens lys, så processer kan finde sted, uden at der skal tilføres nogen anden form for energi. Det betyder, at biobrændsler og biokemikalier til brug i fx plastik vil kunne produceres ved lavere temperaturer og mere energieffektivt end i dag. Nogle af de reaktioner, der i dag tager 24 timer, kan vha. solen gøres på blot 10 minutter.

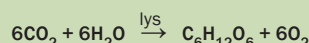
Fotosyntese

I den biologiske fotosyntese absorberes solens stråler, som er elektromagnetisk stråling, af klorofylmolekylerne inde i planternes grønkorn. Klorofylmolekylerne bliver derved exciteret, dvs. nogle af elektronerne i molekylerne bliver løftet til en højere energitilstand. Denne energitilstand kan transmitteres til de såkaldte reaktionscentre i plantens fotosystemer. Reaktionscentre, der er blevet beriget med denne excitationenergi, bliver derved i stand til at afgive en elektron (de er blevet gode reduktanter). Den energirige elektron kan så efterfølgende overføres til en elektronmodtager. De fotosyntetiske reaktionscentre består af en kæde af velorganiserede elektron-afgivere og elektron-modtagere, altså små molekyler eller metalioner, der er bundet i reaktionscentrene og som kan ændre oxidationstrin.

De energirige elektroner begynder deres vandring gennem reaktionscentrene for til slut at ende på molekylet NADP, som derved bliver til et reduktionsmiddel, som levende celler kan bruge til at udføre kemiske processer i cellen. Reaktionscentrene skal bruge en elektronkilde, og her er den biologiske fotosyntese uovertruffen ved at kunne tage elektroner ud af vand (H₂O) under dannelse af oxygen (O₂). Under elektrontransporten gennem reaktionscentrene frigives der ligeledes protoner (H⁺) på den ene side af en membran. Dette gør, at

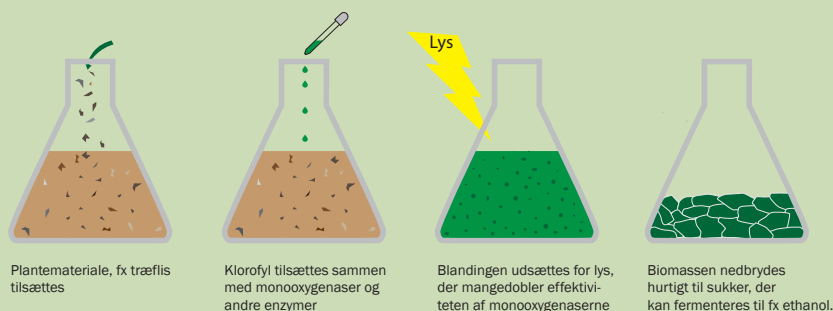


der opstår en koncentrationsgradient med en stor koncentration af H⁺ på den ene side af membranen og en meget mindre på den anden side. Dette udnyttes til at fremstille energirige ATP-molekyler, som cellen kan bruge til arbejde. Resultatet af fotosyntesens lysreaktioner er derfor produktion af oxygen, NADPH og ATP. Størstedelen af dette bruges til at fiksere luftens carbondioxid (CO₂) gennem omdannelse af CO₂ til sukkerstoffer, fedtstoffer og proteiner. Biologisk fotosyntese tager med andre ord elektroner fra vand og reducerer carbondioxid til sukkerstoffer under produktion af oxygen (O₂):



Omvendt fotosyntese

I "omvendt fotosyntese" nedbrydes kæder af reduceret kulstof ([CH₂O]_n), altså sukkerstoffer, ved brug af lys som energikilde. Lyset fanges af klorofylmolekylerne og exciteres. De energirige elektroner fra klorofyl afgives til en metal-ion (Cu) i LPMO, oxygen (O₂) splittes og et O-molekyle indbygges i den brudte sukkerkæde og det andet O-molekyle reduceres til vand. Strengt taget er dette blot en lysdrevet kemisk reaktion. Hvis det havde været "omvendt fotosyntese" i begrebets egentlige forstand, burde der jo komme lys ud!



Aktivitet øges op til 100 gange

Kernen i opdagelsen er, at en klasse af naturlige kobberholdige enzymer kaldet lytiske polysakkarid monooxygenaser (eller blot LPMO'er), mangedobler deres effektivitet, hvis de udsættes for sollys og klorofyl. Denne type enzymer blev opdaget i 2010 af en norsk forskergruppe i samarbejde med den danske biotekvirksomhed Novozymes, og i dag sælger Novozymes monooxygenaser til fabrikker rundt om i verden, der producerer bioethanol ud fra plantemateriale. Ved at tilsætte de kommercielle monooxygenaser til processen, hvor man laver planterester om til bioethanol, kan man fordoble effektiviteten i systemet.

I 2010 vidste ingen, at sollys kan forøge enzymerne effektivitet. Nu har forskerne ved Københavns Uni-

versitet så opdaget, at man med nogle af de allerede kendte monooxygenaser kan øge aktiviteten yderligere med op til en faktor 100, hvis man blander dem med klorofyl og udsætter det for sollys.

Klorofyl er det stof, der giver planterne deres grønne farve. Det er grønt, fordi det absorberer det blå og det røde lys i solens stråler. Når klorofyllet absorberer sollyset, kan den energi, der er indeholdt i sollyset, bruges til kemiske reaktioner. Det udnytter planter til at opbygge deres biomasse. Det er tilsyneladende på en tilsvarende måde, at klorofyllet kan overføre energi til monooxygenaserne som derved forøger deres enzymatiske aktivitet.

I samarbejde med Novozymes vil forskerne derfor arbejde på at skalere processen op, så den kan

Tværfagligt forskningsprojekt

Den nye opdagelse er et resultat af forskning på tværs af fagområder inden for plantevidenskab, biologi, bioteknologi og kemi inden for rammerne af Copenhagen Plant Science Centre ved Københavns Universitet.

Faktisk blev forskerne ledt på sporet, da postdoc David Cannella og ph.d.-studerende Klaus Benedikt Möllers ledte efter noget helt andet i et forsøg med en blanding af cellulose og tilfældigvis opdagede, at effekten var kraftig forstærket pga. lys. I det videre arbejde, der er publiceret i *Nature Communications*, deltog også lektor Niels-Ulrik Frigaard, Biologisk Institut, professor Poul Erik Jensen, Institut for Plante- og Miljøvidenskab og Professor Morten J. Bjerrum, Kemisk Institut.

Forskningsarbejdet er for størstedelen finansieret af Det Frie Forskningsråd.

Kontakt til forskerne
Claus Feldby:
cf@ign.ku.dk

Poul Erik Jensen
peje@plen.ku.dk

Morten Jannik Bjerrum
mobj@chem.ku.dk

Niels-Ulrik Frigaard
nuf@bio.ku.dk

Kilder:

Pressemeddelelse fra
København Universitet
Ingeniøren, Politiken
Videnskabelig artikel:
Nature Communications, doi:10.1038/
ncomms11134

foregå i industriel skala. I dag foregår nedbrydningen af plantemateriale med monooxygenaser i store lukkede stålkanke, hvor der i sagens natur ikke trænger lys ind. Derfor kan en del af den praktiske løsning bestå i at forsyne tankene med lyskilder.

Processen, altså den omvendte fotosyntese, har også potentiale til at kunne omdanne metan fra fx biogas-anlæg til det flydende brændstof methanol under almindelige biologiske betingelser. Methanol er et meget attraktivt råstof, fordi det kan bruges direkte i den eksisterende petrokemiske industri og forarbejdes til brændstoffer, materialer og kemikalier.

Mange ubesvarede spørgsmål

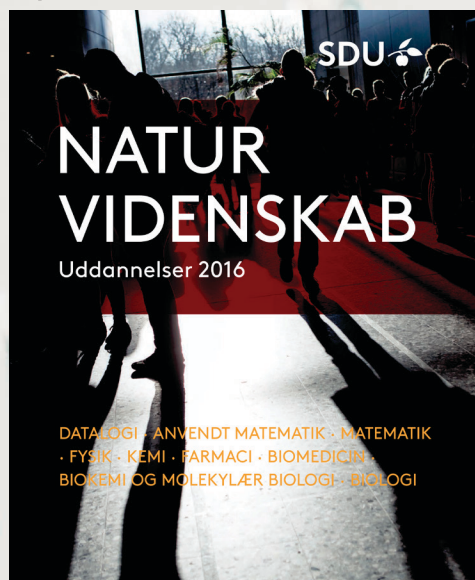
I naturen findes monooxygenaser vidt udbredt, og den specifikke type, forskerne har undersøgt (LPMO'er), kendes fra både svampe, bakterier og vira. Nogle organismer har gener, der koder for mange forskellige LPMO'er. Enzymerne spiller en vigtig rolle for omsætningen af organisk materiale i naturen, men man forstår endnu ikke i detaljer mekanismerne bag de processer, som disse enzymer er involveret i.

Det vides således ikke, hvor udbredt den "omvendte fotosyntese" er i naturen. Men meget tyder på, at svampe og bakterier gør brug af denne proces til at skaffe sig adgang til sukker- og næringsstoffer inde i planterne.

Både hvad angår de praktiske og grundvidenskabelige perspektiver i forskernes opdagelse, ligger der derfor stadig et stort grundvidenskabeligt forskningsarbejde i at aflure monooxygenaserne deres hemmeligheder. ■

De bedste uddannelser til de bedste studerende

Naturvidenskab på Syddansk Universitet



Få tilsendt det nye
uddannelsesmagasin på
www.sdu.dk/bestiluddannelsesmagasin

SDU

Effektive algoritmer, tilfældighed og hashfunktioner

Tilfældighed og såkaldte hashfunktioner spiller en vigtig rolle i datalogien, når store mængder data skal håndteres. Fx når man skal udvikle effektive algoritmer til at sammenligne lister over forskellige menneskers yndlingsfilm.

Mængden af data, som computere skal håndtere, eksploderer under øgenavnet *Big Data*. Løsningen kan være at gøre computerne hurtigere eller at få mange af dem til at arbejde sammen. Men tit er det allervigtigste, at man har effektive algoritmer. En algoritme er en smart måde at løse et problem på.

Hvis man fx skal sortere tal, er en algoritme, at man først finder det mindste tal. Det gør man ved at kigge alle tallene igennem, mens man hele tiden husker det mindste tal, man har set. Dernæst kigger man blandt de resterende tal efter det næstmindste osv. Hvis man skal sortere n tal, så ender man med at lave $n(n-1)/2$ talsammenligninger. Det går nemt nok, hvis der kun er få tal. Men hvis man skal sortere en milliard tal, skal man lave et astronomisk antal talsammenligninger, så det vil tage over tre år på en hurtig processor. Selv hvis arbejdet blev fordelt på tusind processorer, ville det tage en hel dag, og det ville stadig koste en masse energi.

En smartere sorteringsalgoritme er QuickSort, som er udviklet af min specialevejleder på Oxford University Tony Hoare i 1959. Den går ud på først at udtage et tilfældigt tal, og så splitter man resten af tallene op i dem, der er mindre, og dem, der er større. Derefter kan man så sortere de mindre og de større tal hver for sig. Denne algoritme forventes kun at lave $(2n \ln n)$ talsammenligninger, hvad der oversat i tid svarer til otte sekunder i stedet for tre år på en enkelt processor, hvis man skal sortere en milliard tal. Idéen med at bruge tilfældighed her er, at det tilfældige tal, vi splitter over, har en god chance for at ligge et sted i den midterste halvdel.

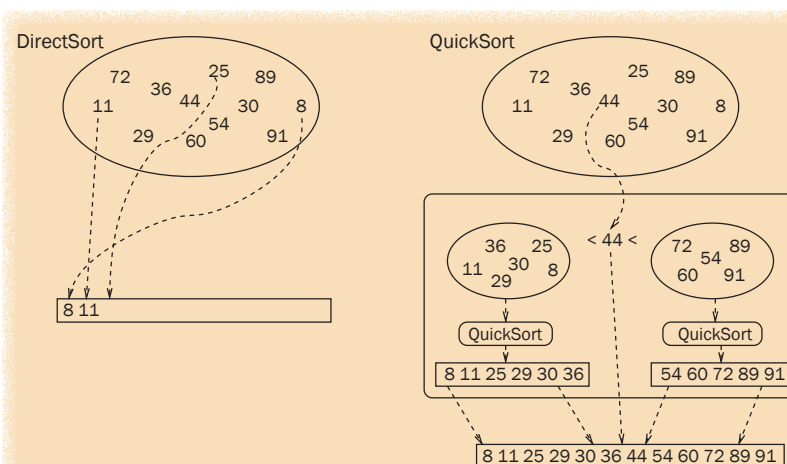
Om at gemme ting på computeren

En anden vigtig brug af tilfældighed er, når man skal gemme ting i computerens lager. Man kan tænke på lageret som et kæmpestort system af kasser. Man kan godt forestille sig et fast system, hvor alle tøjdyr kommer i kasse 953. Men hvis man nu ikke har andet end tøjdyr, vil de alle ende i samme kasse, som vil blive helt overfyldt og svær at finde rundt i. Det gælder derfor om at få tingene nogenlunde pænt fordelt, så ingen af kasserne bliver overfyldt. Idéen er nu, at vi i stedet placerer alle tingene i tilfældige kasser. Det svarer til, at vi skriver kassenumrene på et lykkeshjul og drejer hjulet for hver ting, vi vil putte i kasserne. Når vi drejer hjulet, får vi et helt tilfældigt kassenummer. Hvis lykkeshjulet fx siger "10" til tøjkaninen, putter vi den i kasse



Forfatteren

Mikkel Thorup er professor, Københavns Universitet, Datalogisk Institut. Her leder han Center for Efficient Algorithms and Data Structures. Fra 1998 til 2013 var han ledende industriforsker hos AT&T i USA. I 2015 modtog han Villum Kann Rasmussens Årslegat. mikkel2thorup@gmail.com



Princippet i at sortere tal direkte og at gøre det via en mere smart algoritme som QuickSort. Når der er mange tal, der skal sorteres, bliver forskellen i beregningstid meget stor.

At gemme ting på computeren via tilfældighed

Princippet i at gemme ting på computeren via tilfældighed her repræsenteret ved 19 ting, der skal gemmes i 12 kasser via et lykkeshjul, der tildeler hver ting et tilfældigt kassenummer. Med denne løsning forventes hver ting rent matematisk at blive lagt sammen med $(n-1)/m$ andre ting. I dette tilfælde $19-1/12=1,5$ ting.



1 	5 	9
2 	6 	10
3 	7 	11
4 	8 	12

Princippet i at genfinde ting i computeren ved hjælp af en hashfunktion

På en computer er alle ting repræsenteret som heltal, der her står med røde tal ovenpå den ting, de repræsenterer (fx 807 for kaninen). Vi har valgt et primtal, $p=1009$, der er større end alle de tal, der skal gemmes. Dertil har vi to tilfældige tal, $a=679$ og $b=495$, og nu er hashfunktionen h beskrevet som $h(x)=(((a \cdot x + b) \bmod p) \bmod m) + 1$. I denne formel er "mod" en operator kaldet modulus, der blot betyder "resten ved division". Fx er $8 \bmod 3 = 2$, fordi $3 \cdot 2 + 2 = 8$.

Hashfunktionen tildeler et vilkårligt $x \cdot p$ en hashværdi $h(x)$ mellem 1 og m (hvor m er antallet af kasser). For Holger er $h(368)=4$, så han er i kasse 4.

Pointen er, at hvis a og b vælges tilfældigt med a positiv, så er sandsynligheden for, at to givne ting hører til samme kasse, højst $1/m$.

$$\begin{aligned}
 & \text{a} \quad \text{b} \\
 & \text{679} \quad \text{495} \\
 & (((807 \times 679 + 495) \bmod 1009) \bmod 12) + 1 = 10 \\
 & (((110 \times 679 + 495) \bmod 1009) \bmod 12) + 1 = 4 \\
 & (((368 \times 679 + 495) \bmod 1009) \bmod 12) + 1 = 4
 \end{aligned}$$

1 	5 	9
2 	6 	10
3 	7 	11
4 	8 	12

Samme smag for film?

Peter	hash	Hans	hash	Lars	hash	Personer med den samme
The Shawshank Redemption	83	A Hard Day's Night	75	The Godfather	21	mindste hashværdi har en
The Godfather	21	The Godfather	21	Raiders Of The Lost Ark	45	lignende smag for film.
The Godfather II	44	Singin' in the Rain	63	Star Wars Episode V	07	Sandsynligheden for, at to
Star Wars Episode V	07	Finding Nemo	40	The Shawshank Redemption	83	brugere har samme mind-
The Dark Knight	26	Repulsion	77	Jaws	15	ste hashværdi, er præcis
Apocalypse Now	86	Inside Out	39	Goodfellas	68	antallet af film, de begge
Pulp Fiction	78	Boyhood	88	Apocalypse Now	86	foreslår, divideret med
Goodfellas	68	King Kong	64	Singin' in the Rain	63	antallet af film, de foreslår
The Lord of the Rings III	20	Toy Story 2	73	Pulp Fiction	78	tilsammen.
Fight Club	95	The Seven Samurai	15	Fight Club	95	
Mindste hashværdi	07	Mindste hashværdi	15	Mindste hashværdi	07	

10. Denne løsning forventes at give en pæn fordeling. Hvis vi har “n” ting og “m” bokse, forventes hver ting rent matematisk at blive lagt sammen med $(n-1)/m$ andre ting.

Men hvad gør vi, hvis vi skal finde noget i de mange kasser? Det er fint nok at bruge et lykkehjul til at bestemme, hvor tingene skal smides hen, men så er det jo svært at huske, hvor vi har lagt dem. Det, vi har brug for, er en såkaldt hashfunktion, der som lykkehjulet tildeler alle ting tilfældige kasser, men hvor man altid kan genberegne, hvilken kasse en ting hører hjemme i.

Den egenskab, vi har brug for, er, at to vilkårlige ting ender i samme kasse med sandsynlighed $1/m$, hvor m er antallet af kasser. Til det formål viser det sig, at vi kan klare os med blot to tilfældige tal, a og b , der ved hjælp af hashfunktionen i et hug beskriver, hvordan alting skal placeres (se figur side 36).

Når vi bruger en hashfunktion til at gemme ting i computerens lager, kalder vi det en hashtabel. Det er noget af det, som computere bruger allermost.

Om at finde ting, der ligner

En helt anden anvendelse af hashfunktioner er, når man skal finde ud af, hvor meget to mængder af ting ligner hinanden. Den slags bruges overalt i analysen af Big Data. Det kan fx være i forbindelse med lister over yndlingsfilm. Idéen er, at hvis man kan finde en bruger, der har et stort overlap med en selv i yndlingsfilm, så kan man sikkert bruge hinandens anbefalinger. Det er den slags, der ligger bag, når Netflix foreslår film baseret på, hvad man ellers ser.

Man bruger nu en hashfunktion til at tildele forskellige tilfældige tal til alle film. For hver bruger gemmer vi bare den mindste hashværdi. Vi siger, at to brugere ligner hinanden, hvis de har samme mindste hashværdi. Det lyder måske temmelig naivt, men igen er der pæn matematik bag. Sandsynligheden for, at to brugere har samme mindste hashværdi, er præcis antallet af film, de begge foreslår, divide-

ret med antallet af film, de foreslår tilsammen. Hvis man tager eksemplet vist i tabellen herover er det for Peter og Hans $1/19$, for Hans og Lars er det $2/18$, og for Peter og Lars er det $7/13$. Det er derfor ikke overraskende, at netop Peter og Lars fik samme mindste hashværdi. Gentager vi eksperimentet med forskellige hashfunktioner, får vi mere præcision.

Nu er det jo nemt nok, hvis det bare er lister af 10 film, der skal sammenlignes. Det bliver først rigtigt interessant, når man bruger det til at sammenligne meget store lister via nogle få hashfunktioner. Søgmaskiner bruger det til hurtigt at finde lignende hjemmesider på internettet.

Den præcise egenskab, man har brugt, er, at det for en vilkårlig mængde gælder, at alle elementer har samme chance for at få den mindste hashværdi. Sådanne hashfunktioner er ikke så nemme at lave, men de bedste, vi har, publicerede jeg med en af mine ph.d.-studerende, Søren Dahlgaard, i 2014.

Grænser for tilfældighed

Den ideelle hashfunktion tildeler alle ting helt uafhængige tilfældige tal. Men det kan slet ikke lade sig gøre, for så vil man være i en situation, hvor man ikke kan komprimere data. Computeren skal så at sige huske “det hele”, og så har vi jo ikke vundet noget i forhold til den!

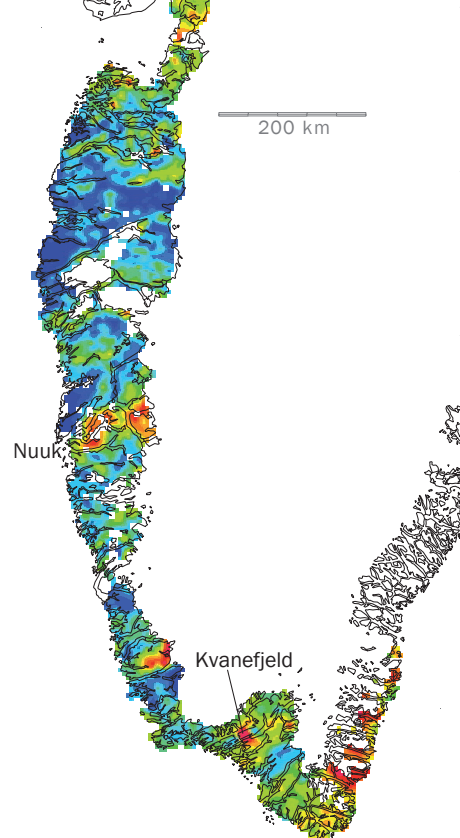
Dette gør hashfunktioner udfordrende at arbejde med. De fleste “leger” blot, at de har en helt tilfældig hashfunktion, og man ender ofte med at bruge nogle hashfunktioner, der godt nok ser tilfældige ud, men som man slet ikke kan stole på. Fx opdagede jeg under min forskning hos AT&T, at angreb på internettet kan få hashtabeller til at gå helt ned, hvis ikke de er lavet ordentligt. Det var i høj grad det, der gjorde mig interesseret i at forske i hashfunktioner. Tit har man nemlig ikke brug for fuld tilfældighed, men blot for nogle begrænsede sandsynlighedsmæssige egenskaber. Jeg vil gerne forstå grænserne for, hvad der er muligt, og hvor dyrt det er at gøre tingene sikre. ■

Videre læsning

Artiklen bygger på artiklen *Effektive algoritmer, tilfældighed og hashfunktioner* bragt i Årsskrift for Villum Fonden og Velux Fonden 2015.

Uranbjerget

Området omkring Kvanefjeld i Grønland gemmer på store mængder værdifulde grundstoffer – bl.a. uran. I 2013 vedtog det grønlandske landsting at ophæve en "nultoleranceregulering", så Grønland nu i princippet kan eksportere uran. Men der kan alligevel være lang vej til, at det bliver en realitet.



Kvanefjeldets lokalisering i Sydgrønland. Rødlige faver angiver et forhøjet naturligt strålingsniveau.

Kilde: GEUS

Forfatterne



Henry Nielsen er lektor emeritus Center for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet
henry.nielsen@css.au.dk



Henrik Knudsen er ph.d. Arkivar og seniorforsker ved Rigsarkivet
hkn@sa.dk

To værnepligtige 'atomsporere', der gennem Forsvarets Forskningsråd var med til at lede efter radioaktive mineraler i nærheden af Kvanefjeld i sommeren 1955.

»Danmark og Grønland enes om uran-eksport. Udenrigsministeriet indgår aftale med Grønlands selvstyre om kommerciel eksport af uran fra Grønland.«

»Lange udsigter for eksport af uran. Der kommer til at gå mindst fem-ti år, før eksport af uran fra Grønland bliver reel, siger forsker.«

Disse to overskrifter i den grønlandske netavis *Sermitsiaq* fra 19. januar 2016, og kronikoverskriften i *Politiken* den 11. februar 2016: »Vi kræver folkeafstemning om udvinding af uran i Grønland: Grønlands Kvanefjeld kan blive det mest forure-

nende industriprojekt i rigsfællesskabets historie« demonstrerer med al ønskelig tydelighed den store opmærksomhed, der netop nu er omkring Grønlands uran. Faktisk har spørgsmålet om udnyttelse af uranforekomsten ved Kvanefjeld (Kuannersuit) i de seneste 5-6 år ofte været forsidestof i danske og grønlandske aviser, af og til endog i toneangivende internationale nyhedsmedier.

Men uranprojektet på Kvanefjeld har en lang og spændende forhistorie, som kaster et interessant lys over de aktuelle begivenheder. Efter at have studeret et omfattende kildemateriale i amerikanske, engelske, danske og grønlandske arkiver er artiklens forfattere nu i stand til at fremlægge denne historie, der begynder helt tilbage i 1944. De mere end 70 år siden da kan passende inddeles i fire perioder, der er karakteriseret ved vekslende geopolitiske og indenrigspolitiske forhold, men også ved tilstedeværelsen af en række aktører med forskellige ekspertiser og divergerende mål for uranjagten i Grønland.

I al hemmelighed

I første periode, fra 1944 til 1953, var der flere mindre forsøg på at lokalisere uranreserver i Grønland. Fx den hidtil ukendte, tophemmelige amerikanske uranekspedition til Sydvestgrønland i sommeren 1944. Den blev igangsat som led i Manhattanprojektet, der udviklede atombomberne, som blev kastet over Hiroshima og Nagasaki i august



Foto: Ebbe Thue Poulsen

1945. Den "uafhængige" danske ambassadør i Washington, Henrik Kauffmann, godkendte ekspeditionen – men uden at vide, hvad der blev givet grønt lys til. Også de første danske efterforskningsaktiviteter umiddelbart efter krigen fandt sted i dybeste hemmelighed. I hvert fald fra 1947 var danske geologer klar over, at der fandtes et uran-potentiale i området omkring Kvanefjeld, men den neutrale småstat Danmarks udsatte position i øst-vest-konflikten spillede en afgørende rolle for, at politikerne og forskerne gjorde alt for at holde den beskudte uranefterforskning i Grønland hemmelig. De vurderede, sikkert med rette, at et betydeligt uranfund i Grønland ville umuliggøre den alliancefrihed, som Danmark tilstræbte i de første år efter krigen.

Højt profileret fiasko

I anden periode, der strækker sig fra præsident Eisenhower's *Atoms for Peace*-tale i december 1953 til udgangen af 1960'erne, indledtes en større efterforskning efter uran ved Kvanefjeld i Grønland. Nu var der endelig åbnet op for, at Danmark kunne få hjælp fra USA og England til at udvikle fredelig atomenergi, som af næsten alle sagkyn-dige blev anset for at være den eneste mulighed for at undgå en truende global energimangel. I 1955 nedsatte regeringen derfor en dansk Atomenergi-kommission med Niels Bohr som formand, hvis opgaver de følgende år bl.a. var at opføre atomforsøgsstationen Risø, at arbejde for indførelse af atomkraft i dansk elforsyning og at iværksætte uranekspeditioner til Kvanefjeld. Sidstnævnte indsats var begrundet i et håb om, at man ville finde uranforekomster, der kunne hjælpe Danmark ud af dets næsten totale afhængighed af kul fra øst-bloklandet Polen og olie fra det politisk ustabile Mellemøsten.

De intensivt pressede ekspeditioner fandt sted i et langt fra harmonisk samarbejde mellem Atomenergi-kommissionen og Grønlands Geologiske Undersøgelse, og – i de første år – under medvirken af Forsvarets Forskningsråd og Kryolitselskabet Øresund. Danmark ville vise omverdenen, at vi kunne selv – vi havde ikke brug for assistance til det store nationale projekt. Men det gik ikke som håbet. Ganske vist blev der fundet betydelige mængder uran i Kvanefjeld, men den ensidige satsning på dansk ekspertise, faldende uranpriser, og de deltagende aktørers indbyrdes konflikter bidrog alle til, at det højt profilerede danske prestigeprojekt blev en økonomisk og politisk fiasko. Fx blev Forsvarets Forskningsråd allerede i 1957 presset ud af projektet efter at være beskyldt for at have til hensigt at bruge eventuelle uranforekomster til fremstilling af atombomber. Og Kryolitselskabet Øresund trak sig frivilligt i efteråret 1958, da selskabets direktion vurderede, at de hidtil gjorde uranfund ikke ville være rentable at udvinde.

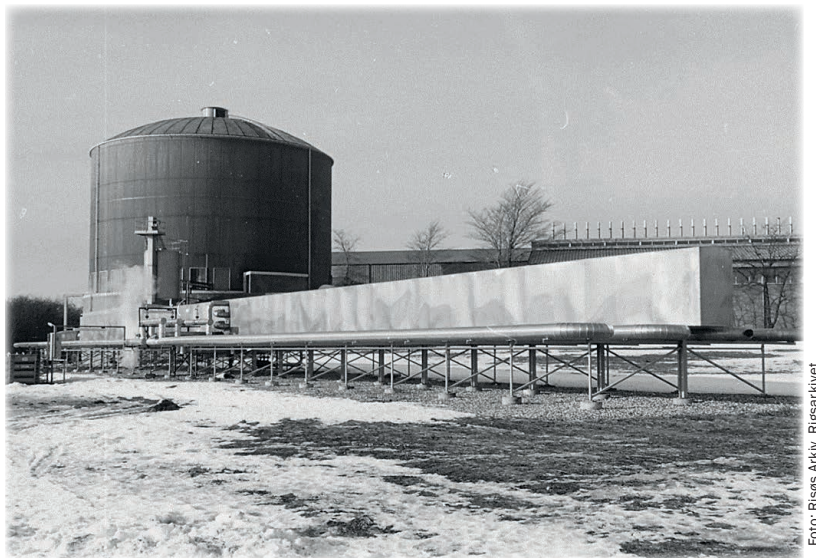
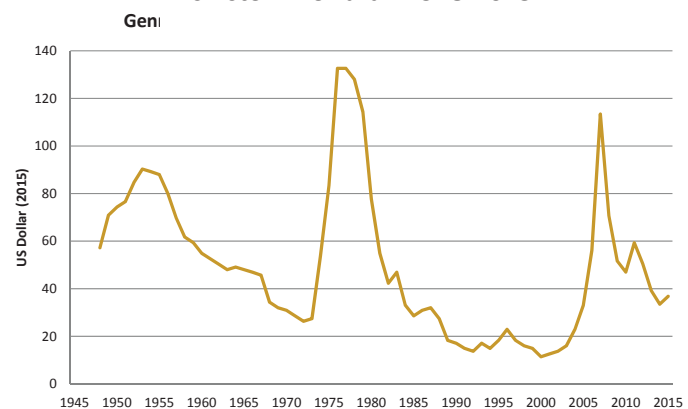


Foto: Rises Arkiv, Rigsarkivet

Rørreaktoren på Risø, hvor der i 1980-83 blev udvundet uran fra Kvanefjeld-uranmalmen.

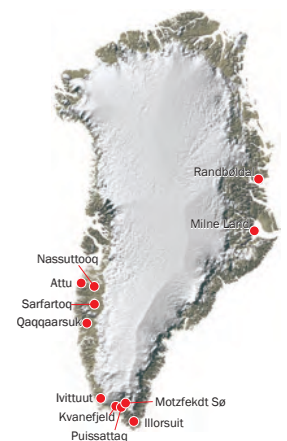
Prishistorik for uran 1948-2015



Den årlige gennemsnitspris for et pund yellow cake (U_3O_8) i 2015-US-Dollar.

Voksende skepsis

Tredje periode, der omfatter årene fra 1970 til afslutningen på den kolde krig i 1989, indledtes med ny optimisme med hensyn til at finde og udnytte uran i Grønland, ikke mindst i Kvanefjeld-området. Nogle få år inde i 70'erne begyndte verdensmarkedsprisen på uran at stige kraftigt, hvilket var en af de vigtigste årsager til, at Risø og Grønlands Geologiske Undersøgelse i sidste halvdel af 70'erne påbegyndte et stort offentligt finansieret "Uranprojekt Kvanefjeld". Projektet fandt sted ved to lokaliteter, der lå flere tusind kilometer fra hinanden. Den ene lokalitet var Kvanefjeld, hvor der blev boret en næsten én kilometer lang tunnel ind til bjergets midte. Herfra blev der hentet cirka 5.000 tons uranmalm, som med skib og lastbiler blev transporteret til den anden lokalitet, Forskningscenter Risø. Her arbejdede forskere i flere år på at udvikle økonomisk rentable metoder til at frigøre uranen fra den malm, der var blevet hentet i Kvanefjeld.



Kendte uranholdige mineralforekomster.

Kilde: GEUS

Borebissler henter kerneprøver ud af Kvanefjeldet

Foto: Greenland Minerals & Energy



Til trods for at projektet fagligt set var rimelig succesfuldt, kom der ikke noget ud af anstrengelserne. Årsagen var først og fremmest, at der i takt med den voksende selvstændighedsbevægelse i Grønland efter EF-afstemningen i 1972, og især efter at Grønland havde opnået hjemmestyre i 1979, opstod en så kraftig grønlandsk modstand mod uranprojektet, at dette må opgives, netop da den afgørende beslutning om minedrift skulle træffes i midten af 80'erne. Men det spillede også en væsentlig rolle, at selv de danske politikere, der havde været varme fortalere for dansk atomkraft, var ved at miste gejsten. I Jyllands-Posten den 7. januar 1984 slog statsminister Poul Schlüter således fast, at »naturligvis afventer vi eksperternes vurdering [om muligheden for sikker opbevaring af radioaktivt affald i Danmark], men meget tyder på, at det ikke længere kan betale sig at bygge atomkraftværker i Danmark.« Han foregreb dermed den formelle folketingsbeslutning af 29. marts 1985, der pålagde regeringen »at tilrettelægge den offentlige energiplanlægning ud fra den forudsætning, at atomkraft ikke bliver anvendt.« Og når Danmark ikke selv agtede at bruge uranen, ville det i praksis være umuligt at overbevise grønlanderne om, at de alligevel burde være med til at udvinde et stof, som en stor del af befolkningen var modstandere af.

I de senere år er det fra grønlandsk side ofte blevet hævdet, at Fællesrådet for mineralske råstoffer i Grønland (der i forbindelse med etableringen af hjemmestyret var blevet nedsat som et rådgivende organ med ligelig repræsentation af danske og grøn-

landske politikere) i 1988 vedtog den såkaldte nultoleranceregulering. Denne regel, som undertiden også er blevet henført til en beslutning i Grønlands Lands-ting samme år, skulle efter sigende slå fast, at det er forbudt at eftersøge og udnytte uran i Grønlands undergrund. Trods ihærdig efterforskning har vi ikke kunnet finde dokumenter, der bekræfter dette. Så denne nultoleranceregulering for uran er en myte. Det er derimod en kendsgerning, at Grønlands Lands-ting i efteråret 1988 vedtog, at det var imod minedrift, hvis uran var hovedproduktet – ikke hvis uran kun indgik som biprodukt. Kun det stærkt venstreorienterede parti Inuit Ataqatigiit gik ind for et totalt stop for alle uranaktiviteter i Grønland.

Uranspøgelset går igen

I fjerde periode, dvs. perioden fra 1989 til i dag, har der været fokus på det moderne Grønlands store økonomiske udfordringer og dets vanskeligheder ved at finde sig til rette med det uranspøgelse, der er genopstået i ny skikkelse, efter at mange anså det for dødt og begravet i 1988. Fra begyndelsen af 1990'erne indtil 2007 praktiserede Grønland en *de facto* nultolerancepolitik i den forstand, at når Råstofdirektoratet udstedte koncessioner til efterforskning af diverse råstoffer i den grønlandske undergrund var der en passus, som fastslog, at tilladelsen ikke omfattede efterforskning efter radioaktive grundstoffer. Ifølge den erfarne politiker Lars-Emil Johansen (Siumut), der har spillet en hovedrolle i Grønlands råstofpolitik, siden hjemmestyret blev indført, betød det dog blot, at der gjaldt særlige regler på dette område. Men denne

noget uklare praksis blev alvorligt udfordret, da det australske mineselskab Greenland Minerals and Energy (GME) i 2007 søgte og fik tilladelse til at søge efter sjældne jordarter i Kvanefjeldsområdet. Allerede i 2008 kunne selskabet meddele, at det havde fundet store mængder af disse kostbare og for moderne samfund uundværlige grundstoffer. Selskabet luftede desuden investeringsplaner til milliarder af kroner med henblik på at udvinde sjældne jordarter ved Kvanefjeld, men at det kun havde interesse, hvis Grønlands Landsting ville ophæve den førortalte nultoleranceregulering. Det skyldtes, at man ikke kunne undgå at få uran med op, når man gravede efter sjældne jordarter i Kvanefjeld. Og ifølge GME ville projektet kun være rentabelt, hvis selskabet fik lov til også at udnytte biproduktet uran, for hvilket verdensmarkedsprisen var rekordhøj i 2007-08.

Nultolerancereglen ophæves

Udmeldingen fra GME blev starten på en 5-års periode med enorm fokus på uranspørgsmålet. Det grønlandske samfund blev herved delt i to næsten lige store lejre for og imod ophævelse af nultolerancereglen fra 1988. En regel, som altså aldrig er blevet vedtaget af noget kompetent organ, men som eksisterede i grønlandernes kollektive bevidsthed.

Der var dramatik i luften, da Inatsisartut (som Landstinget hedder, efter at Grønland i 2009 opnåede selvstyre) den 24. oktober 2013 vedtog at ophæve nultolerancen over for efterforskning og brydning af uran og andre radioaktive stoffer. Den skelsættende beslutning blev dog truffet med den mindst mulige margin, 15 mod 14, mens to medlemmer af Inatsisartut undlod at stemme. Det var altså langt fra nogen overbevisende sejr, den siddende Siumut-regering havde vundet. Selv om GME udadtil var og er tilfreds med resultatet, må selskabet til stadighed overveje, om det bliver muligt at skaffe risikolystne investorer i milliardklassen til et grønlandsk mineprojekt, når uranprisen er faldet med mere end 70 % siden 2008. Det må også være en kilde til evig bekymring hos GME, at nultolerancereglen måske vil blive (gen)indført efter et kommende valg i Grønland, hvis Inuit Ataqatigiit igen kommer i regering. Desuden skal GME, inden udvindingstilladelse gives, kunne præstere en omfattende dokumentation for, at det store mineprojekt ved Kvanefjeld ikke vil skade omgivelsernes miljø i nævneværdig grad. Og det kan godt blive noget af en udfordring, for selskabets dokumentation vil helt sikkert blive kigget grundigt efter i sømmene af Råstofdirektoratets folk, men også af en række miljøorganisationer.

Uranbjerget venter endnu

Endelig er der spørgsmålet om at sikre, at uran fra Grønland ikke havner i forkerte hænder. Som det fremgår af de to citater fra Sermitsiaq.ag i indled-

Kvanefjeldets geologi

Kvanefjeldet er en del af det geologiske område, der kaldes Gardarprovincen. Området ligger nær Grønlands sydvestlige spids og er dannet som et riftsystem i et gammelt kontinent på samme måde, som det i nutiden sker i Østafrikas Rift Valley. Gardarprovincen er gennemskåret af utallige brudzoner (forkastninger), gange (sprækker og revner i jordskorpen) og omkring 10 større og mindre intrusioner, der alt sammen vidner om den kraftige vulkanske aktivitet, der prægede området for 1120-1300 mio. år siden. En intrusion er et større bjergartslegeme, som er dannet ved, at magma er trængt op i jordskorpen, hvor det ved mødet med de omgivende bjergarter er størknet i flere kilometers dybde. De overliggende vulkanske bjergarter er siden forvitret og eroderet væk. Det, der nu er overflade, lå dengang flere kilometer nede i jordskorpen. Kvanefjeldet ligger i Ilímaussaq-intrusionen, der samtidig er den bedst undersøgte af disse intrusioner. Området måler ca. 8 gange 17 km. For en geolog er der tale om et af jordens mest eksotiske steder, rigt på sjældne mineraler, hvoraf nogle kun kendes herfra. Ilímaussaq er hovedsageligt opbygget af bjergarter kaldet nefelinsyenit, der er lyse, kornede, stærkt smulderende bjergarter, som består af mineralerne feldspat og nefelin samt andre farvede mineraler. Som noget unikt for området, består Kvanefjeldets top af lavabjergarter. Lige under dette vulkanske lag findes et lag bestående af lujaovit, en mørk form for nefelinsyenit med et højt indhold af sjældne jordarter (REE), zircon, titan, zink, fluor, thorium og uran. Uranindholdet er især knyttet til mineralet steenstrupin, et komplekst silikat, der indeholder op til 0,5 % uran, en del mere thorium samt sjældne jordarter. Ellers er de sjældne jordarter i Ilímaussaq primært knyttet til det røde mineral eudialyt. I forhold til de fleste andre mineraler med sjældne jordarter har eudialyt et højere indhold af de økonomisk vigtige, tunge sjældne jordarter, fx yttrium og dysprosium, hvilket gør mineralet specielt attraktivt.

ningen, er der nok opnået en principaftale mellem den danske regering og det grønlandske selvstyre om eksport af uran, men de to regeringer har måske ikke gjort sig helt klart, hvor omfattende arbejdet vil blive. Det er jo ikke et rent dansk-grønlandsk anliggende. I kraft af internationale konventioner, som Danmark har tilsluttet sig, vil det internationale atomenergiagentur IAEA utvivlsomt holde nøje øje med, at det nødvendige apparat til sikkerheds- og eksportkontrol kommer på plads, inden der kan eksporteres så meget som et kilogram uran fra Grønland. Og hvor længe er GME indstillet på at vente? Hvor længe har de råd til at vente? Uranbjerget skal nok vente. Det har ligget, hvor det ligger, i millioner af år med sit indhold af uran næsten intakt. Måske får det lov at ligge uforstyrret længe endnu.



Krystal af mineralet steenstrupin, der kan være rigt på uran.

Foto: Rob Lavinsky, iRocks.com
- CC-BY-SA-3.0

Yderligere læsning



Artiklen bygger på forfatterens nye bog: Henrik Knudsen og Henry Nielsen, *Uranbjerget – Om forsøgene på at finde og udnytte Grønlands uran fra 1944 til i dag*. Forlaget Vandkunsten, marts 2016. Indbundet. 272 sider.

Information og fakta om udvinding af uran i Grønland: Per Kalvig, Karsten Secher og Gert Asmund. Udgivet af De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland – GEUS, 2012

Om firmaet Greenland Minerals & Energy: gme.gl

Aktuel NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

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

Styregruppe

- **Bo T. Andersen**, afdelingsleder, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Joakim Groth**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Jens D. Holbech**, chefkonsulent, Science and Technology
- **Mads Bendix Fjendsbo**, rektor, Viborg Gymnasium og HF
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Annette Lind**, områdeleder, chefkonsulent, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet

Redaktionsgruppe

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

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

Ansvarshavende

Dekan Niels Chr. Nielsen, Science & Technology, Aarhus Universitet

Redaktion

Redaktør Jørgen Dahlgaard og redaktør Carsten Rabæk Kjaer

Tlf.: 87 15 20 94

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

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

Abonnementspris 2016

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

Abonnementsservice: Telefonnr.: 70 25 55 12

e-post: aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Layout og illustration: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S

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

Oplag: 7.500

Omslag:

Foto fra en eng med urten trævelekrone (*lychnis flos-cuculi*) i blomst.

Foto: Jens Christian Schou.



Fagpanel

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

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

Sponsorabonnenter:

GRUNDFOS



Intropakke



Intropakken – en oplagt gaveide!

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

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

Abonnementsservice

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

Kontakt abonnementservice på

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

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

Oprydningssalg

Mangler du nogle numre af bladet?
Så er der nu en chance for at supplere samlingen med dette tilbud:

Tilbudspakke med ældre ikke udsolgte numre ca. 26 blade (fra år 2007-2014):

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

Se mere og bestil via hjemmesiden:
aktuelnaturvidenskab.dk eller
på telefon 7025 5512.

Aktuel Naturvidenskab i gymnasiet

Nyt DNA-forløb

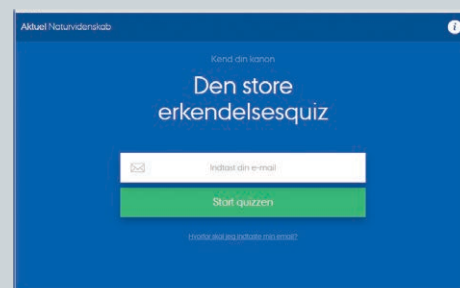
Som led i projektet *Aktuel Naturvidenskab i gymnasiet* har lærere fra Viborg Gymnasium og HF udarbejdet et kort forløb om DNA beregnet til undervisningen i Biologi C. Forløbet bygger på artikler bragt i *Aktuel Naturvidenskab*, og det omfatter masser af materiale, der er direkte brugbart i din undervisning. Der er en undervisningsplan til 3 lærebogssystemer, 2 arbejdsark med i alt 24 spørgsmål i vidt forskellige sværhedsgrader, 4 øvelsesvejledninger, 1 præsentation, 12 links til animationer samt 2 quiz'er.

Du kan finde materialet på: aktuelnaturvidenskab.dk

Her kan du også finde mange andre opgavesæt beregnet på undervisningen i gymnasiet. Projektet *Aktuel Naturvidenskab i gymnasiet* er finansieret af VILLUM FONDEN.

Er du naturvidenskabeligt dannet?

Hvis ikke du har prøvet kræfter med vores store naturvidenskabs-quiz, så skynd dig ind på vores hjemmeside og test din viden om 10 af naturvidenskabens store teorier. Der er i alt 30 spørgsmål, og hvis du kan svare rigtigt på dem alle, er du i sandhed dannet!



Undervisningsmaterialer til de seneste numre

Der er undervisningssæt knyttet til artiklerne:

- Bakteriers immunsystem åbner døren til en ny æra for biologien (crispr)
(AN 1/2016) *Biologi B+A og Bioteknologi*
- Se ind i maden, (AN nr. 6/2015) og
- Kviksølv i Østersøen, (AN nr. 5/2015)
Biologi B+A, med faktaboks om kemi
- Sæt sejl mod stjernerne, (AN nr. 4/2013),
Fysik A

Du finder materialerne under punktet *undervisningsmaterialer* på hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Her kan du også finde undervisningssæt til mange andre artikler.

Nyhedsbrev

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

Du får:

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

Tilmeld dig via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Mød os på Facebook.com/aktuelnaturvidenskab

Middelalder-rådgivning

Af geolog Gunnar Larsen, NIRAS. gl@niras.dk

Som ansat i et rådgiverfirma lander der ind i mellem en usædvanlig opgave på ens bord. Under anlægsarbejder midt i Odense havde Odense Bys Museer sidste år udgravet en stenkiste med et skelet og et nadversæt på det sted, hvor der lå en kirke af sten, som kong Knud den Hellige blev dræbt i. Placeringen tæt på kirkens alter, samt nadversættet til vin og brød tyder på, at den begravede var en biskop. Den fine biskop og hans kiste var værd at undersøge nærmere, og museumsinspektør Jacob Tue Christensen spurgte derfor, om jeg som geolog kunne bestemme stenkistens bjergarter og dermed hvilket stenbrud, de kom fra? Det er et led i at afdække de forhold, der formede domkirken og magtstrukturerne i den tidlige kristne periode, fx datidens teknologier og handelsruter.

Vi ved, at man i Middelalderen har hentet sten til bygninger, ornamenter og brugsgenstande rundt om i Europa. Ribe Domkirke har sten af vulkansk tuf fra Rhinområdet i Tyskland, skifer til slibesten er hentet i Norge og kalksten til gravsten er hentet på Gotland. Biskop Absalons borg i København, der i dag kan ses under Christiansborg Slot, var bygget af kalksten fra Stevns Klint, og kirker på Djursland er bygget af kalksten fra kystklinerne. Mange kirker fra den tidlige middelalder blev bygget af hvidt kildekalk, også kaldet frådsten. Kildekalk dannes af grundvand, der springer ud af jorden, ofte i kuperet terræn for foden af bakker og langs ådale.

I graven og under mikroskopet

I det tidlige efterår 2015 gik vi ned i graven. Skelettet var for længst sendt til retsmedicinere og nadversættet til metalanalyse, og vi venter nu på resultaterne. Tilbage var stenkisten, og vi kunne hurtigt se, at dens låg og sider var af kildekalk. Bunden af stenkisten var en mere massiv kalk. Vi udtog to prøver med tilladelse fra Kulturstyrelsen, for sådan en skal man have for at kunne hakke i kulturarven. Under mikroskop kunne vi tydeligt se, at også kistebunden var af kildekalk, men hvor den svampelignende struktur var udfyldt med krystaller af mineralet calcit, der gav en større hårdhed end stenene i låg og sider.

Hvor lå kalkbruddet?

Da hele kisten således består af kildekalk, er materialerne nok hentet fra et lokalt brud og ikke fra eksotiske egne i Europa. Kildekalk kendes bl.a. fra den kirke, som biskoppen var begravet under (Albani Kirke). I dag ses denne kildekalk i krypten under Odense domkirke lige ved siden af fundstedet. Af sikre kildekalksbrud fra middelalderen kender vi ikke så mange, kun to mellem Roskilde og Holbæk, der leverede til



Foto: Odense Bys Museer

Museumsinspektør Jacob Tue Christensen i færd med at undersøge stenkisten med skelettet fra den 1000 år gamle bispegrav.

kirkebyggerier omkring Isefjorden. Så det var nærliggende at søge efter lokale forekomster af kildekalk, som kunne have leveret til kirker omkring Odense. Ved geologisk kortlægning i 1928-1935 af Fyns jordarter fandt man kildekalk og kalkbrud til jordbrugsformål langs Odense Å. Derfor regner vi med, at kildekalken til stenkisten er fra en lokal forekomst i Odense Ådal, hvor man har savet stenene ud i den bløde kalk og bag efter hærdnet i fri luft. Vi ved ikke endnu, om man bevidst har valgt at bruge den hårdt cementerede kalk til bund og den porøse til sider og låg, så den ærværdige biskop kunne ligge sikkert i sin grav til Dommedag.

Hvem var biskoppen så? Hørte han til ærkebispesædet i Canterbury, til Hamborg-Bremen eller det senere danske ærkebispesæde i Lund? Man kender kun ét navn på en biskop i Odense fra 1000-tallet, så et navn får han nok aldrig. Men hans fødeland skal analyser af skelettets DNA, strontium og kulstof-14 fremover prøve at bestemme. ■