

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL *natur*VIDENSKAB

COMPUTERSPIIL *bringer os tættere på kvantecomputeren*

LANDBRUGSpakken – et kvælstofeksperiment?

ATOMkernernes spin fortæller om grundvandet

HVAD Feynman gør, er altid det rigtige

NR.3 - 2016 JULI : 50KR

Vand, struktur eller bevægelse?

Trods en ihærdig indsats har forskningen det stadig svært med at forstå væsken vand på det molekylære plan. Det skyldes måske, at vi har været for optagede af at studere strukturer fremfor dynamik, skriver Søren Keiding.

Vand er en eftertragtet ressource. OECD forventer, at klodens vandforbrug i år 2050 bliver på ca. 5500 km³. Det svarer til, at der over hele Danmark falder 130 m regn, hvilket igen svarer til alt regnvand over Danmark i 180 år. Så der skal bruges og ikke mindst genbruges en masse vand, før vores fremtidige behov for vand er opfyldt. Og i modsætning til troen på, at videnskabelige fremskridt vil kunne give os erstatninger for mange andre vigtige materialer som eksempelvis olie, kul og jern, skal vi nok ikke regne med, at der i fremtiden lanceres en væske med "nye og forbedrede egenskaber", som kan afløse vand. Så vand er og vil altid være et af de vigtigste forskningstemaer.

Struktur giver forståelse

De 5500 km³ vand, som vi regner med at skulle bruge, svarer til et meget stort antal vandmolekyler, og ligesom vi som samfund er udfordret af det enorme vandforbrug, så er videnskaben udfordret af sammenhængen mellem det enkelte vandmolekyles egenskaber og vands egenskaber som væske – altså kogepunkter, frysepunkter, viskositet, tæthed, ledningsevne, osv. Der er mange grunde til, at videnskaben stadig har det svært med vand, men den primære årsag er formodentlig de såkaldte hydrogenbindinger, altså svage bindinger mellem vandmolekylerne, som er med til at holde sammen på de ellers meget lette vandmolekyler. Udfordringen med hydrogenbindingerne er, at de netop er så svage, at de ved stuetemperatur konstant brydes og gendannes.

Vores forståelse af naturen er i høj grad baseret på veldefinerede strukturer, tænk på atomernes opbygning, krystallers struktur og DNA-molekylernes koder, og vi udfordres således, når vi skal forstå og beskrive en væske som vand, som både er struktur og dynamik. Vi har godt styr på is, som er 100 % struktur, og vi har godt styr på vanddamp, der er 100 % dynamik, men væsken vand – den driller stadig.

Tunneleffekt og tunnelsyn

For nylig har en gruppe forskere på Cambridge Universitetet i England publiceret en artikel, hvor de i meget stor detalje har studeret, hvordan vandmolekylerne bevæger sig i en lille vanddråbe. Faktisk er dråben så lille, at den kun består af 6 vandmolekyler, hvilket er det mindste antal vandmolekyler, der

kan danne en rigtig 3-dimensional "dråbe". Forskerne har vist, at den kvantemekaniske tunneleffekt er ansvarlig for meget af den bevægelse, der foregår i dråben. Resultaterne viser også, at vandmolekylerne ofte flytter sig på en måde, hvor to hydrogenbindinger brydes samtidigt. Hidtil har man antaget, at det er sket ved, at bindingerne gradvist blev bøjet og drejet, således at én binding blev brudt samtidig med, at en ny dannedes. Det spændende ved disse resultater er, at det giver en lidt dybere indsigt i vands dynamik, altså en forståelse af, hvordan hydrogenbindinger hele tiden brydes og dannes. Men, man kan blive også helt træt ved tanken om, hvor kompleks strukturen og dynamikken er for selv den simpleste vanddråbe med blot 6 molekyler! På den måde er der lange udsigter, før vi for alvor begynder at forstå, hvordan blot 1 milliliter vand – for ikke at sige 5500 km³ – opfører sig på molekylært niveau. Man kan bruge eksemplet med vand til at overveje, om vi som forskere måske har stirret os blinde på strukturer, altså atomer og molekyler, der er ordnet på en helt bestemt måde i forhold til hinanden? Forskningen har de seneste 200 år givet utallige forslag til nye "strukturer" i vand; polyvand, ringe af vandmolekyler, high density og low density vand, homøopatisk vand og "den 4. fase". Ingen af disse både seriøse og mere farverige forslag til nye strukturer af vand har for alvor rykket vores forståelse af vand fremad. Måske kunne vi lære mere om vand og vandmolekyler, hvis vi i stedet blev bedre til at studere dynamik, altså måden vandmolekylerne bevæger sig rundt mellem hinanden og ikke altid søger efter den afgørende vandstruktur. ■



Søren Rud Keiding er professor dr. scient. Han er prodekan for forskning på Science & Technology, Aarhus Universitet og er formand for Det Frie Forskningsråd | Teknologi og produktion. Han er ny ansvarshavende redaktør for Aktuel Naturvidenskab. keiding@au.dk

SPONSORABONNENTER

GRUNDFOS

novo nordisk

novozymes
Rethink Tomorrow

AKTUEL NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology,
i samarbejde med:

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

Styregruppe

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

Redaktionsgruppe

- **Birgitte Dalgaard**, 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

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

Redaktion

Redaktører Jørgen Dahlgaard og Carsten Rabæk Kjaer

Tlf.: 87 15 20 94

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

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: 8.000

Omslag:

Foto/illustration:

Scienceathome.org



N indhold

Nu har astrokemikeren Brett McGuire fra Caltech observeret et chiralt molekyle i det interstellare rum.

7



Spillet Quantum Moves viser vejen hen mod fremtidens supercomputere ved at finde nye måder at løse problemer inden for kvantefysik.

18

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 Kort Nyt
- 8 Selvlysende bakterier og gennemsigtige fisk
- 12 Atomkernernes spin fortæller om grundvandet
- 18 Computerspil tæmmer atomernes verden
- 22 Mysteriet om påsken

PERSPEKTIV - DEBAT

- 2 Synspunkt
- 26 Landbrugspakken
- 32 Hvad Feynman gør, er altid det rigtige
- 36 Den eksperimentelle biologis fader
- 41 Anmeldelser og service
- 44 BAGSIDEN: Bliv dus med din skraldespand

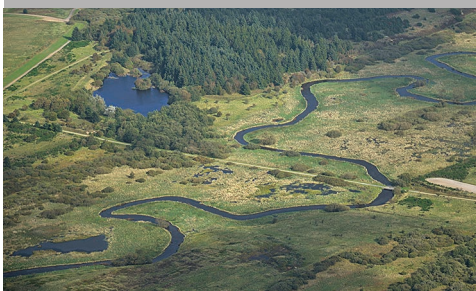


En effekt af relativitetsteorien er, at Jordens centrum er et par år yngre end overfladen. En berømt fysikers lille regnefejl om dette spørgsmål giver indsigt i, hvordan videnskabsfolk arbejder.

32

Er der en sammenhæng mellem et ældgammelt forårsritual og oprindelsen til påsken?

22



Ifølge regeringen vil landbrugspakken være til gavn for både landbrug og havmiljø. Men vores revurdering af data tyder på et risikabelt kvælstof-eksperiment i fuld skala.

26

Se det store i det små

Indien fejrer hellige mænd jorden foran sig med en lille kost, så de ikke træder på noget levende på deres vej. Det får turister til at trække på smilebåndet og vende øjnene opad. Men måske er de hellige mænd slet ikke så galt afmarcheret, som man skulle tro. Helt små mikrovæsener har nemlig stor betydning for jordlagenes økologiske balance. Og deres betydning for jordens omsætning af bl.a. næringsstoffer bliver ikke mindre vigtig i kølvandet på klimaforandringerne. Fx her i Danmark, hvor vi i 2075 efter al sandsynlighed får et mere tørt klima end i dag. Derfor er der god grund til at rette søgelyset mod disse mikroorganismer og deres betydning for det økologiske kredsløb i jordlagene, fordi vi ikke ved så meget om deres betydning for helheden. Og det er netop, hvad en gruppe forskere på bl.a. Københavns Universitet har gjort med et forskningsprojekt, som for nylig er offentliggjort i tidsskriftet *ISME Journal*.

Holdet med bl.a. Flemming Ekelund og Chri-

stopper Bugge Harder fra Biologisk Institut har rettet fokus mod en gruppe mikroorganismer, der kaldes Cercozoer. De æder jordbakterier og er dermed med til at sætte gang i jordlagenes økologiske kredsløb. Og der er rigtig mange af disse Cercozoer, som ingen rigtig



kendte noget til indtil for ca. 30 år siden. I det nye studie undersøgte forskerne mangfoldigheden af Cercozoer ved hjælp af såkaldte "DNA-stregkoder", hvor man identificerer arter ud fra forskelle i små stykker DNA. På den

måde fandt forskerne i fire små jordprøver på hver et halvt gram jord flere end 1.000 forskellige arter pr. prøve. Forskningen peger i retning af, at klimaforandringerne med mere tørt klima i årene fremover også vil betyde en forskydning af antallet af mikroorganismer og dermed stofomsætningen i jorden. Og det er med endnu uanede konsekvenser, påpeger forskerne. Forskningen er udført i samarbejde med den britiske forsker David Bass (Natural History Museum, London) og er støttet af Det Frie Forskningsråd og af Carlsbergfondet. Svend Thaning, Københavns Universitet

På fotoet ses skallen af en skalbærende amøbe (*Euglypha*) – som er en stor Cercozo – fotograferet med scanning-elektronmikroskop af skallen. Hvis amøben stadig var levende ville den stikke ud af den ene ende. Skallen er ca. 0,04 mm lang. De skalbærende amøber ser ud til at være følsomme overfor et mere tørt klima, som vi kan forvente i fremtiden. Foto: Clément Duckert, Neuchâtel Universitet, Schweiz.

Bedre vandrensning i troperne

Konkurrence mellem "gode" og "onde" bakterier gør miljøvenlig biologisk fjernelse af fosfor i spildevandsrenseanlæg svært at kontrollere – især under sydlige himmelstrøg, hvor temperaturerne er høje.

Forskere fra Aalborg Universitet har udviklet en metode til at pacificere én type uønskede bakterier (glykogen-akkumulerende GAO) for at give andre mere nyttige bakterier (polyfosfat-akkumulerende PAO) optimale betingelser til at optage og fjerne fosfor fra spildevandet i rensesanlæg.

I et nyt erhvervsforskerprojekt har erhvervsph.d. Mikkel Stokholm-Bjerregaard i samarbejde med vandrensningseksperter fra danske Krüger A/S samt dets franske moderselskab Veolia nu gjort teknologien mere klar

til praktisk brug. Den indgår nu i planerne for et konkret anlæg i fuld skala i Indien, og Veolia har tænkt sig at bruge den i nye anlæg i Mellemøsten.



Normalt bolttrer "de onde" GAO-bakterier sig ved temperaturer over 20 °C, men forskernes forslag udnytter rensesanlæggenes eksisterende kontrolsystemer på en ny måde til at ændre magtbalancen, selv når der er varmt.

Forskerne udnytter, at de har konstateret fundamentale forskelle på de to bakteriegrupperes fysiologi. Det betyder, at man kan optimere forholdene til gavn for de fosforfjernerende organismer ved at justere bakteriernes og slammets opholdstid i særlige tanke på rensesanlæg-gene.

Resultaterne baner vej for øget biologisk fosforfjernelse i varme områder, hvor det ellers ikke er så udbredt.

Fordelene i forhold til kemisk fosforfjernelse er blandt andet et bedre CO₂-regnskab, færre om-

kostninger til kemikalier og større potentiale for fosforgenindvinding.

Carsten Nielsen, Aalborg Universitet.

Foto: Colourbox

Effektiv fotosyntese

Fotosyntesen omdanner lysenergi til kemisk energi i cellerne hos planter, alger og visse bakterier. Mens planter kun formår at omdanne 1-2 % af solens lys til kemisk energi, er alger noget mere effektive med en udnyttelse af sollyset op til 4 %. Forskere har af den grund nysgerigt studeret alger for at afsløre, hvordan de bærer sig ad – og om muligt overføre evnen til bedre lysudnyttelse til vore afgrøder. En international gruppe forskere har nu i tidskriftet PNAS kastet nyt lys over sagen.



En af de helt centrale aktører i fotosyntesen er enzymet RuBisCo, som sørger for at fiksere (omdanne) atmosfærisk kuldioxid til kulhydrater i alle organismer med fotosyntese. Hastigheden af denne reaktion er ofte begrænsende for resten af fotosyntesen og dermed i sidste ende for, hvor hurtigt planterne vokser på marken. I alger er RuBisCo-molekylerne koncentreret i en struktur kaldet pyrenoid, som findes i grønkornene og under mikroskopet ligner en lille boble. Fordelen

ved pyrenoidet er, at det koncentrerer kuldioxid om RuBisCo, så enzymet populært sagt kan køre hurtigere. På trods af deres betydning ved man ikke meget om, hvordan disse strukturer dannes på det molekylære niveau.

I det nye studium har forskerne mere specifikt undersøgt et spørgsmål, der længe har været uafklaret, nemlig hvad der får RuBisCo til at koncentrere sig i kernen af pyrenoidet. De fandt, at et enzym kaldet EPYC1 spiller en

afgørende rolle i den proces, da det binder sig til RuBisCo og pakker det ind i den matrix af proteiner, der danner det indre af pyrenoidet.

På længere sigt er det store perspektiv som nævnt at forsøge at udvikle afgrøder, der ligesom alger har pyrenoider i deres grønkorn. Forskere vurderer, at det vil kunne give op til 60 % højere udbytte af afgrøderne.

CRK. Kilde: doi: 10.1073/pnas.1522866113

Energisystem skal gøre butikker grønne

Kunder i landets butikker skal vænne sig til, at lyset og ventilationen er en anelse dæmpet i de perioder, hvor vinden ikke blæser, eller solen gemmer sig bag skyer. Et nyt forskningsprojekt skal nemlig udvikle et system, så butikernes store energislugere, som er ventilation og lys, kan dæmpes i de perioder, hvor der ikke er grøn energi i nettet. Når mængden af energi produceret fra vind og sol varierer, er det en god løsning at tilpasse forbruget tilsvarende.

Et af de spørgsmål, som projektet vil undersøge er, hvad kunderne siger til, at butikkerne får et grønnere forbrug. For kunderne og medarbejderne vil jo samtidig kunne mærke, at der i løbet af dagen bliver ændret for lyset og ventilationen.

»I samarbejde med nogle af landets største butikskæder skal vi nu i gang med at kigge



på, hvor vi med fordel kan dæmpe lyset og ventilationen, så det bliver mindst muligt bemærket af både kunder og medarbejdere,«

siger projektleder Mikkel Baun Kjærgaard fra SDU Center for Energy Informatics.

Han peger på erfaringer fra Californien, hvor forskere har testet et lignende system hos blandt andre Walmart og Ikea. Det californiske ledningsnet er gammelt og bliver nemt overbelastet. Når der var et højt energiforbrug, skruede forskerne derfor ned for air condition, hvilket kunderne umiddelbart tog godt imod.

Projektets partnere, der udover SDU omfatter Insero, Green Tech Center og AURA Rådgivning, vælger i første omgang at samarbejde med en række butikskæder, der i dag bliver rådgivet om deres energiforbrug af firmaet AURA Energi. Her er målet at optimere energiforbruget og spare penge.

Mette Christina Møller Andersen, Det Tekniske Fakultet, SDU. Foto: Colourbox

Hvordan har Danmarks pindsvin det?

Hver aften kan vi se pindsvin tøfle rundt i haver og på veje, og man skulle ikke umiddelbart tro, at der er noget mystisk ved det lille stikkende dyr. Men der er faktisk rigtig mange ting, som vi ikke ved om dem.

»Vi ved f. eks. ikke, hvor stor bestanden er i Danmark, eller hvor gamle dyrene bliver. Vi ved heller ikke, om de har det bedre eller værre end tidligere,« siger ph.d.-studerende Sophie Lund Rasmussen fra Biologisk Institut, SDU. Hun skal nu lede en undersøgelse af, hvordan det står til med Danmarks pindsvin.

»Over de sidste 10 år er pindsvin gået 30 pct. tilbage i England, og det kan godt give anledning til bekymring i Danmark. Forholde-



ne i England og Danmark er nemlig ikke så forskellige,« siger hun.

Til sine undersøgelser efterlyser Sophie Lund Rasmussen nu hjælp fra danskerne.

»Vi vil gerne bede danskerne om at aflevere trafikdræbte pindsvin til os på en af tyve indsamlingsstationer i landet,« forklarer hun. De døde pindsvin skal hjælpe forskerne med svar på en masse gåder.

»Vi er bl.a. interesseret i at finde ud af, om der er særlige risikoområder, hvor pindsvin bliver kørt over. Og om de er i risiko for indavl, hvis de mange veje gør det svært for dem at få kontakt til andre bestande. Vi skal også undersøge deres helbredstilstand.« Helt specifikt vil hun tage prøver fra pindsvinene og undersøge tarme, alder, tænder og organer.

»Det er altid en skam, når et dyr trafikdræbes, men i dette projekt vil pindsvinene i det mindste ikke være døde forgæves,« siger hun.

www.sdu.dk/pindsvin

Kromosom-kommunikation

En grundlæggende forudsætning for celledeling er, at arvemassen kodet i DNA'et først er kopieret, inden cellen deler sig. De fleste bakterier har al deres arvemasse samlet i et stort kromosom. Kopieringen sker ved en DNA-replikation af dette kromosom i en nøje reguleret proces, der sikrer, at replikationen sker én og kun én gang for hver celledeling.

Kolerabakterien med det latinske navn *Vibrio cholerae* er karakteristisk ved, at den har to kromosomer. Derfor har det interesseret forskerne, hvordan denne bakterie sikrer, at replikationen af kromosomerne koordineres i bakterien. For forskerne fungerer kolerabakterien som en modelorganisme for, hvordan højere organismer kan kontrollere replikationen af arvemassen.

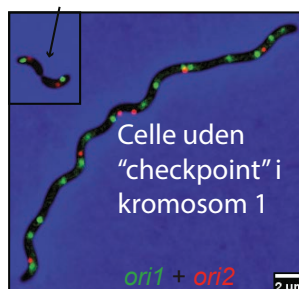
Et forskerhold ledet af Didier Mazel og Romain Koszul fra Institut Pasteur i Paris og lektor Ole Skovgaard, Roskilde Universitet

har nu afsløret en hidtil ukendt, energibesparende mekanisme, der som et "checkpoint" kontrollerer replikationen af kromosom nummer to i bakterien. Checkpointet består af en specifik DNA-sekvens, der er lokaliseret et specifikt sted på kromosom nummer 1, og hvis replikationen af dette første kromosom ikke når til dette checkpoint, standser celledelingen. Det forklarer, hvordan de to kromosomer koordinerer deres replikation. Samtidig viser undersøgelsen også interaktion og kommunikation mellem de to kromosomer

– en hidtil uset observation i bakterier.

Forskningen bygger på Tue Rasmussens speciale fra 2007, som under vejledning af Ole Skovgaard og Rasmus Bugge Jensen netop viste, at de to kromosomer afsluttede deres replikation samtidigt, og at de derfor måtte have en mekanisme til at koordinere processen. De nye resultater er netop blevet offentliggjort i tidsskriftet *Science Advances*. Lene Pedersen, RUC. Kilde: *Science Advances* 22. Apr 2016: Vol. 2, no. 4, e1501914

Normal celle



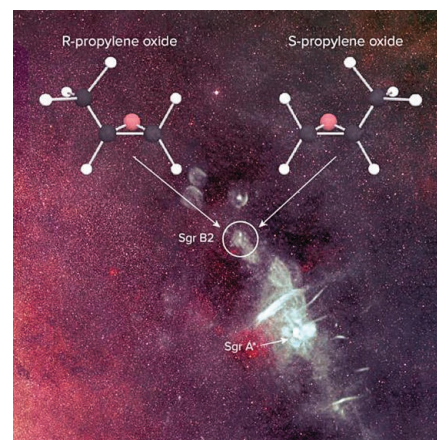
Figuren viser hhv. en normal kolerabakterie-celle og en manipuleret celle, hvor kromosom 1 mangler sit checkpoint. Startstedet for replikationen (hhv. ori1 og ori2) af de to kromosomer er mærket med fluorescerende stoffer. Det fremgår, at kromosom 1 (grøn) replikeres normalt, mens der er meget få kopier af kromosom 2. I stedet for at dele sig danner cellen lange cellefilamenter.

Chiralt molekyle i rummet

Chirale molekyler er molekyler, som findes i to rumligt forskellige udgaver: en "højre- og venstrehåndet", men ellers består af nøjagtig de samme atomer. De to udgaver af et chiralt molekyle har også de fleste andre fysiske egenskaber tilfælles som smeltepunkt og evne til at absorbere lys. Men de kan reagere med andre kemiske forbindelser på vidt forskellig måde, og derfor har de stor betydning i levende organismer. En række helt afgørende biologiske funktioner varetages således af chirale molekyler. Fx er alle aminosyrerne i levende organismer – byggeklodserne i proteiner – venstrehåndede. Hvorfor naturen netop har "valgt" den venstrehåndede form at basere liv på, kan man ikke give noget entydigt svar på. I nogle meteoritter er der fundet forskellige chirale molekyler, hvor begge udgaver er til stede, men typisk findes den venstrehåndede udgave i større koncentrationer, en besynderlighed man heller ikke fuldt ud kan forklare.

Nu har astrokemikeren Brett McGuire fra California Institute of Technology (Caltech) og kolleger for første gang observeret et chiralt molekyle i det interstellare rum. Ved at gennemgå data fra radioteleskoper opdagede forskerne tegn på molekylet propylenoxid ($\text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{O}$) i en stor sky af gas. Gasskyen, kaldet Sagittarius B2 Nord, ligger i en afstand på ca. 28.000 lysår fra Mælkevejens centrum, og den er lidt over tre lysår i tværsnit. Dataene tyder på, at propylenoxid findes i en skal af gas uden for gasskyens kerne. Observationerne støtter den antagelse, at komplicerede molekyler kan dannes på ispartikler i diffuse skyer af interstellart gas og støv, som mange modeller for udviklingen af stjernesystemer foreslår – og som i sidste ende er vigtig for at forstå, hvordan livet på jorden er opstået. Forskernes data fortæller ikke specifikt, om det er den højre- eller venstrehåndede udgave af propylenoxid – eller begge – der findes i gasskyen.

CRK. Kilde: Science, DOI: 10.1126/science.aae0328



Illustrationen viser de tydelige radiokilder i Mælkevejens centrum (de hvide områder) sat ind på et baggrundsbillede fra Sloan Digital Sky Survey. Sagittarius A (Sgr A*) betegner det supermassive sorte hul i Mælkevejens centrum, mens SgrB2 er den gassky, hvor forskerne har observeret det chirale molekyle propylenoxid.

Foto: B. Saxton, NRAO/AUI/NSF

Mikroplast gør aborrer sårbare



Den seneste tid har der været megen opmærksomhed om forurening af verdenshavene med plastik. Problemet er, at plastik generelt har en meget lang levetid i miljøet, hvor det bliver findelt til partikler af "mikroplastik", som man mistænker for at kunne påvirke levende organismer på uheldig

vis. Et nyt studium af Oona Lönnstedt and Peter Eklöv fra Uppsala Universitet for nylig publiceret i Science, giver nu ny næring til den bekymring. De svenske forskere har undersøgt, hvordan mikroplastik i mængder svarende til, hvad man kan måle i miljøet, påvirker aborre-yngel. Forskerne udklækkede æg af aborrer i akvarier med forskellige

koncentrationer af plastikpartikler (polystyren) med en størrelse på 90 mikrometer. Mens 96 % af de befrugtede æg klækkede i en tank med plastikfrit vand, var det kun 81 %, der klækkede i tanke med høje koncentrationer af mikroplastik.

I et andet forsøg undersøgte forskerne, hvad der skete, når larver af aborrer blev udsat for en rovfisk (en gedde). Det viste sig, at 46 % af larver, der var blevet opdrættet i en tank med plastikfrit vand, stadig var i live efter 24 timer. Til sammenligning var samtlige larver opdrættet i vand med høj koncentration af mikroplastik blevet ædt efter bare 16 timer. Disse larver udviste ikke normal "anti-rovdyr-respons", såsom at reducere deres bevægelse eller "fryse", når de blev udsat for alarmsignaler fra deres artsfæller.

CRK. Kilde: Science 352, 1213–1216 (2016)

Foto: Shutterstock.

SELVLYSENDE BAKTERIER OG GENNEMSIGTIGE FISK

– nye redskaber
i vaccineforskningen

Forskere har hidtil studeret vacciners virkningsmekanismer med indirekte metoder. Men med fremkomsten af gennemsigtige fisk og selvlysende bakterier kan man nu få direkte syn for sagen.



Louise von Gersdorff Jørgensen er adjunkt og forsker i fiskens immunsystem, fiskesygdomme og vaccineudvikling. lvgi@sund.ku.dk



Kurt Buchmann er professor og arbejder med interaktioner mellem vært og patogen samt bæredygtige løsninger i akvakultur. kub@sund.ku.dk

Institut for Veterinær Sygdomsbiologi, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet
Københavns Universitet

Hvidpletsyge, også kendt under navnet fiskedråber, er en alvorlig sygdom hos ferskvandsfisk og forekommer på alle kontinenter. Den forårsages af en encellet parasit med det videnskabelige navn *Ichthyophthirius multifiliis*, der frit oversat betyder "fiskelusen med de mange børn". En enkelt snylter kan nemlig på få dage formere sig til tusind nye parasitter, hvilket kan tage livet af selv en sejlivet fisk, deraf tilnavnet "fiskedråber". Snylteren er et encellet fimredyr, der er i stand til at bore sig ind i gæller og hud på ferskvandsfisk. Her æder snylteren fiskens celler og vokser derved op til en meget stor celle med en diameter på op til 1 mm, som kan ses med det blotte øje. Den trænger dernæst ud fra sit opholdssted, hvorved der skabes en betydelig læsion i fiskens overfla-

de, og ved kraftige infektioner vil de mange perforationer slå fisken ihjel. Snylteren er derfor frygtet i både fiskeopdræts- og akvariefisk-industrien over hele verden.

Forebyggelse nødvendig

Man anvendte tidligere en række kemikalier for at holde parasitten under kontrol. Flere af disse var miljømæssigt eller sundhedsmæssigt problematiske, hvorfor man har fjernet dem fra dambrugenes hylder. Flere mere skånsomme og miljøvenlige stoffer (såsom natriumperkarbonat og poredikesyre) er nu tilgængelige, men de kræver en større arbejdsindsats at bruge. Derfor er vaccination mod sygdommen vejen frem, hvis vi vil opnå en bæredygtig fremtid indenfor akvakultur. Vacciner har nemlig allerede vist sig særdeles effektive til at forebygge en række bakterie- og virussygdom-

me hos fisk. Derfor virker det nærliggende at producere en vaccine imod hvidpletsygen. Desværre har parasitter fra naturens side en evne til at snyde værtsens immunsystem, så man må stå tidligt op for at have en chance mod fiskedråber. Desuden er det også en udfordring, at fisken skal vaccineres som en ganske lille fisk på få gram, idet den allerede på yngelstadiet bliver udsat for smitte.

Vaccinen smugles ind med en bakterie

Vi har derfor udnyttet en kendt metode til at vaccinere fisk mod sygdommen yersiniose også kaldet rødmundsyge forårsaget af bakterien *Yersinia ruckeri*. Det er en ubehagelig og dødelig sygdom i regnbueørred, men man kan med succes vaccinere fiskene imod den ved at dyppe de små fisk i døde



Regnbueørred (*Oncorhynchus mykiss*) inficeret med fiskedråberparasitten *Ichthyophthirius multifiliis*.

Genmanipulerede *Yersinia ruckeri*-bakterier med fiskedråberparasittens overflade-antigener, som fluorescerer grønt ved belysning med 488nm pga. proteinet GFP.



Vildtype zebrafisk



Gennemsigtig zebrafisk

Fotos: Louise von Gersdorff

bakterier i 30 sekunder. De døde bakterier bliver herved optaget af fisken gennem overfladerne, og der udvikles en god immunitet mod de levende bakterier, når de efterfølgende forsøger at invadere ørreden.

For at tilpasse metoden til fiskedråber har vi modificeret *Yersinia*-bakterien ved at indsætte et gen, som koder for fiskedråberparasittens overflade-antigener i bakterien. For præcist at kunne følge de døde bakteriers vej ind i fisken, har vi også indsat et gen, der får bakterierne til at udtrykke et protein kaldet Green Fluorescent Protein (GFP), som fluorescerer grønt, når man belyser det med en bestemt bølgelængde (488 nm).

De genmodificerede bakterier blev slået ihjel med formalin, og dermed

havde vi en vaccine, der kunne bruges til forsøg.

Syn for sagen med gennemsigtige fisk

Indenfor vaccineforskningen må man som oftest vurdere de komplicerede immunreaktioner i organismen ved at bruge en række tidskrævende metoder. Men indenfor fiskeforskningen er der nu etableret forsøgsdyrsmodeller, der giver forskerne en enkel mulighed for at studere fænomenerne direkte. Vi har således inddraget en gennemsigtig zebrafisk og brugt den som model for regnbueørreden for at være i stand til at følge bakteriens optagelse og videre skæbne i fisken. Den gennemsigtige zebrafisk har fået udkoblet to gener, som medfører at huden bliver gennemsigtig, og man kan derfor følge de fysiologiske processer og anatomi-

ske detaljer på første parket. Det er således muligt at se hjertet slå, følge blodet og dets immunceller på deres vej til immunorganer (hovednyre, thymus og milt) samt til leveren, svømmeblæren, tarmen og gællerne.

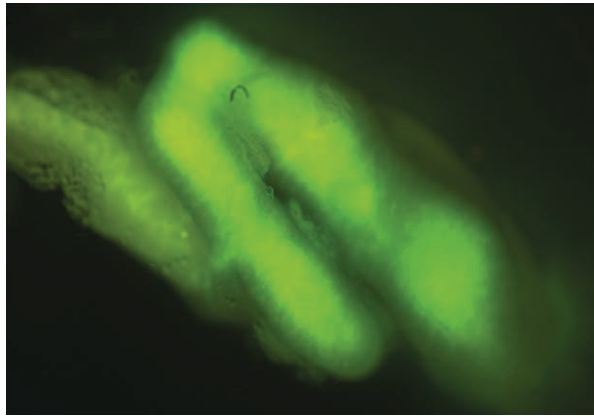
Vi har i vores forskning vist, at det er muligt at dyppe de gennemsigtige fisk i den kombinerede bakterie- og parasitvaccine og efterfølgende registrere optagelsen til forskellige tidspunkter ved hjælp af et fluorescens-mikroskop. Bakterierne med parasitproteiner og GFP blev optaget i fisken via tarmsystemet og hudens skællommer og kunne efterfølgende spores i milt, lever og hovednyre efter et par dage. Denne måde at optage "bad-vacciner" på i zebrafisk minder meget om de tilsvarende mekanismer i regnbueørred. Og da zebrafisk også

Videre læsning

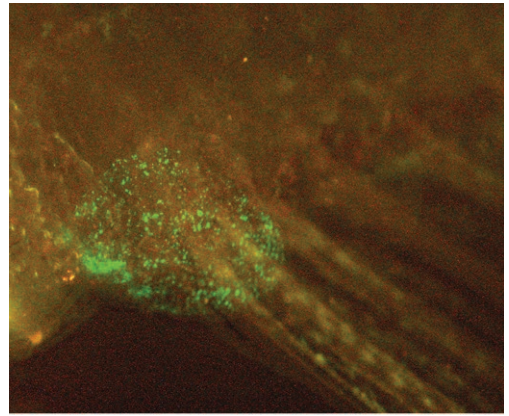
Xu, Z. et al (2013). Teleost skin, an ancient mucosal surface that elicits gut-like immune responses. PNAS 110 (32): 13097-13102.

Jørgensen, L. v. G. et al (2012). Approaches towards DNA vaccination against a skin ciliate parasite in fish. PLOS ONE 7: 11, e-48129, 1-16.

Jørgensen, L.v.G. et al (2011). Experimental evidence for direct in situ binding of IgM and IgT to early trophonts of Ichthyophthirius multifiliis (Fouquet) in the gills of rainbow trout, Oncorhynchus mykiss (Walbaum). J. Fish Dis. 34: 749-755



Fotoet viser tarmen fra en zebrafisk, som lyser grønt på grund af de genmanipulerede bakterier med GFP.



På billedet kan man se, at bakterierne har samlet sig i en skællomme ved en finne.

kan få hvidpletsyge, kan vi nu bruge zebrafisken som modelorganisme for denne fødevarerfisk.

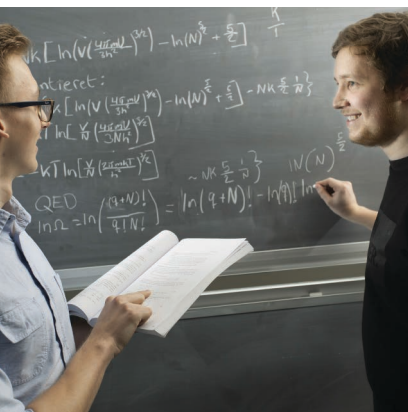
En model for fremtiden

Det har altid været forbundet med stort besvær, manglende succes og stor frustration at fremstille vacciner mod parasitter. Med fremkomsten af den gennemslagslige fiske-model og de selvlysende vacciner har vi nu et redskab til at vurdere,

hvorledes fremtidens vacciner optages i værten. Vi vil kunne se, hvor immunreaktionerne etableres, og hvordan den vaccinerede vært reagerer mod de snedige snyltere.

Vi har dog endnu ikke løst problemet med fiskedråber, da vaccinen ikke viste sig særlig effektiv i regnbueørred. Vores teori er, at bakterien ikke kunne fremstille parasitproteinet på en sådan måde, at det lignede

det virkelige protein. Derfor er vi nu på jagt efter et andet antigen, der giver beskyttelse og er lettere for bakterierne at producere i en velligende udgave. Når vi har fundet et sådant, har vi forhåbentlig løsningen på problemet med fiskedråberparasitten. Vi vil fremadrettet kunne teste alle vacciner imod fiskedråber i zebrafisk, hvilket vil være en stor økonomisk fordel, da zebrafisk er meget lettere at holde end regnbueørred. ■



Ses vi til NAT-DAG på RUC onsdag d. 28. september 2016 ?

Her inviterer vi igen gymnasier, HF og HTX indenfor til en dag med naturvidenskab.

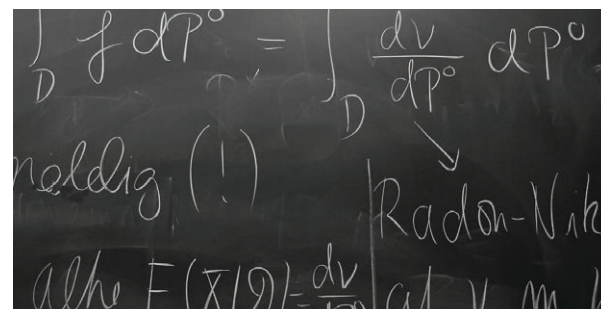
På Nat-dagen kan du og dine elever opleve spændende foredrag, deltage i eksperimenter i vores nye laboratoriebygning og diskutere naturvidenskabelige problemstillinger med forskere og studerende.

Læs mere på: nat-dag.ruc.dk

Fagligt
Udviklende
Karrierefremmende



Science på RUC
Naturvidenskab i virkeligheden



FÅ NYE PERSPEKTIVER PÅ NATURVIDENSKABEN

Tag din gymnasieklasse med til et spændende besøg på Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet på Københavns Universitet.

Vores engagerede forskere står klar med foredrag og øvelser inden for blandt andet biologi, matematik, kemi, nanoscience og fødevarer.

Gå ind på science.ku.dk/gymnasiebesoeg

Her kan du læse mere om vores forskellige tilbud, se en film om vores gymnasiebesøgsordning og tilmelde dig vores nyhedsbrev. Så får du information om vores klassebesøg og de mange andre tilbud til dig og dine elever.

ATOMKERNERNES FORTÆLLER GRUNDVANDET

Med en teknik kaldet overflade-NMR kan man måle direkte på grundvandet i jorden. Denys Grombacher arbejder på at forbedre metoden, så den kan blive et udbredt værktøj til hjælp for kortlægningen af de vandførende lag og til en bæredygtig forvaltning af vores grundvand.

Af Carsten R. Kjaer,
Aktuel Naturvidenskab



**DET FRIE
FORSKNINGSRÅD**
DANISH COUNCIL
FOR INDEPENDENT
RESEARCH

Artiklen bringes i samarbejde med Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers.

Det Frie Forskningsråd dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Det Frie Forskningsråd består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence. Formand for Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers er professor ved Danmarks Tekniske Universitet, Lone Gram.

Denys Grombachers forskning er finansieret af eliteprogrammet Sapere Aude Forskertalent (2015) og DFF-Individuelt post-docstipendium (2015). Læs mere på detfrieforskningsraad.dk

Drikkevand kan uden at overdrive betegnes som et af verdens allervigtigste råstoffer. I Danmark får vi 98 % af vores drikkevand fra grundvand, og vi bruger derfor meget krudt på at kortlægge vore grundvandsressourcer. I praksis vil vi gerne vide, hvor grundvandet er lokaliseret, hvor meget vand, der er i et grundvandsreservoir, hvilke egenskaber reservoiret har – og ikke mindst, hvor sårbart grundvandet er.

At skaffe sig denne viden er dog ikke en trivial øvelse. Ved hjælp af borer kan vi blive meget klogere på undergrundens beskaffenhed og dens indhold af vand i et givet punkt i landskabet. Men borer er dyre, og de kan heller ikke bruges til hurtigt at tilvejebringe et billede af undergrundens materialer og indhold af vand i et større område. Med forskellige geofysiske teknikker kan man ved målinger fra jordoverfladen få et godt billede af undergrundens jordlag og tolke, hvilke materialer de består af – og derigennem indirekte give et bud på, om de er vandførende. Men

ingen af de udbredte målemetoder i dag giver direkte information om, hvor meget vand, der faktisk er i undergrunden i et givet område.

Og dog. På Aarhus Universitet arbejder Denys James Grombacher med en metode, som har påkaldt sig en del interesse fra forskere og forvaltere af grundvand verden over. Metoden kaldes overflade-NMR, og den glimrer ved, at de målte signaler kommer direkte fra vandmolekylerne.

Førende i grundvand

Det er ikke nogen tilfældighed, at Denys netop befinder sig på institut for Geoscience ved Aarhus Universitet. Her findes nemlig en forskningsgruppe, som er verdensførende indenfor en geofysisk metode til grundvandskortlægning, hvor man tolker undergrundens beskaffenhed ud fra forskelle på jordlagenes elektriske ledningsevne. Sådanne målinger kan foretages på jordoverfladen, og Aarhusgruppens store fortjeneste er, at de har udviklet metoden, så målingerne kan laves fra en helikopter. På den måde kan man hurtigt og effektivt kortlægge

undergrunden uden at forstyrre landmænd og andet godtfolk alt for meget. Den helikopterbaserede metode, kaldet SkyTEM, har været en både forskningsmæssig og kommerciel succes, som har bragt Aarhus-forskerne på verdenskortet. Via et samarbejde med en tilsvarende forskningsgruppe indenfor geofysisk grundvandsundersøgelse på Stanford University i USA, kom Denys til Danmark her i 2016 på en post.doc.-bevilling fra Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers.

Anvendt kvantemekanik

Den metode, overflade-NMR, Denys arbejder med i sit forskningsprojekt, minder for en overfladisk betragtning om den, som SkyTEM bygger på. Begge går de således ud på at inducere et magnetfelt i jorden ved hjælp af et elektrisk signal og måle på det signal, man får tilbage fra undergrunden. Men grundlæggende bygger metoderne på vidt forskellige fysiske principper.

Forkortelsen NMR står for nuklear-magnetisk resonans, og hvis den lyder bekendt, skyldes det, at den dækker over nøjagtigt det samme

SPIN OM

Denys Grombacher er fra Canada, men har taget det meste af sin uddannelse på Stanford University i USA. Hans tilgang er den teoretiske geofysik, så derfor foregår det meste af hans forskning ved computeren, mens feltarbejde optager måske 20 % af hans tid. Foto: Lars Kruse.

Geofysiske målinger med NMR

I forbindelse med geofysiske undersøgelser skelner man mellem tre forskellige metoder, der alle bygger på nuklearmagnetisk resonans (NMR). Udover overflade-NMR, som Denys arbejder med, findes der desuden borehuls-NMR og laboratorie-NMR.

Borehuls-NMR har været anvendt indenfor oliebranchen siden 1960'erne og er derfor at betragte som en moden teknologi. Som navnet antyder, går metoden ud på at sænke udstyr til NMR-målinger ned i et borehul, og med målingerne kan man få information om porerum og væsker (bl.a. olie) i de bjergarter, man har gennemboet. Det er heftigt udstyr, man bruger til sådanne målinger, da det skal kunne modstå de høje tryk i en dyb olieboring – en standard MR-skanner til at sænke ned i en olieboring er 10 meter lang, 12,1 cm i diameter og vejer på den anden side af et halvt ton. Den er derfor alt for stor til at kunne bruges i de noget mindre borerer efter grundvand. I de senere år er der dog begyndt at dukke "slimline-udstyr" op, som kan anvendes til de formål også.

Ved laboratorie-NMR foregår målingerne ikke overraskende i laboratoriet, hvor man har udstyr, der er specialiseret til at undersøge geologiske prøver fra borerer og beskrive deres geofysiske egenskaber.

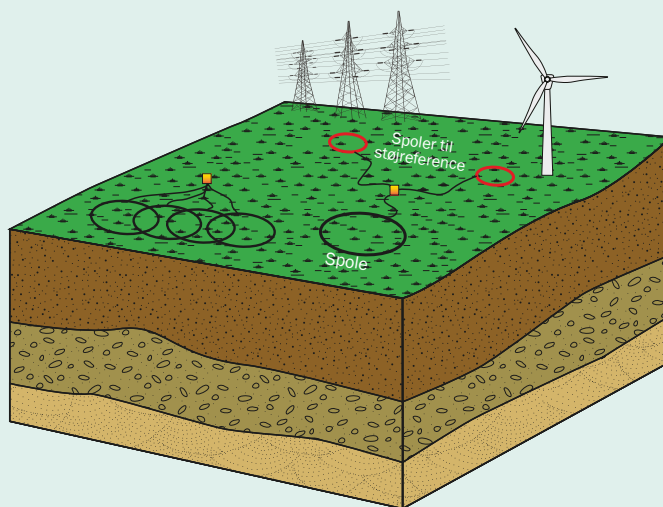
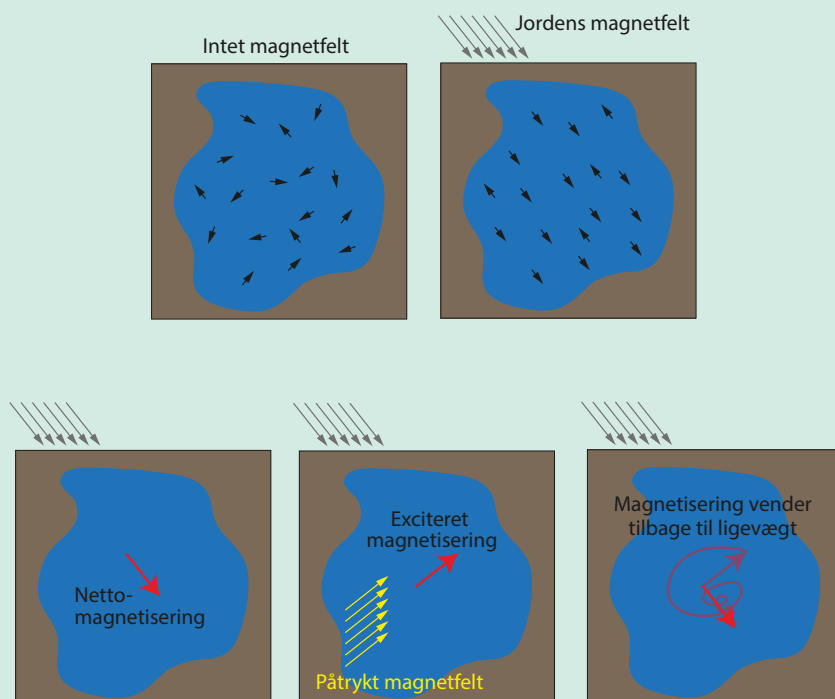


Illustration af måleopstillinger til overflade-NMR i felten. Typisk bruges kun en enkelt spole, men man kan også lave opstillinger med flere spoler. Udover spolen, der skal optage signalet fra vandet, kan man udlægge spoler tæt på støjklender (fx elektriske hegn, vindmøller mv.) og dermed få præcise mål for støjen, som i den efterfølgende databehandling bruges til at trække støjen fra det målte signal.

Hydrogenkerner som stangmagneter



Hydrogenkerners spin producerer et magnetisk moment, der gør dem sammenlignelige med små stangmagneter, der vil være tilfældigt orienteret i fraværet af et eksternt magnetfelt. I et magnetfelt – fx Jordens – vil de derimod være tilbøjelige til at rette sig ind efter magnetfeltets retning.

Summen af de mange små magnetiseringer producerer en netto-magnetisering. Ved at påtrykke et sekundært magnetfelt med en retning vinkelret på det primære magnetfelt bringes hydrogenkernernes magnetisering ud af ligevægt (de exciteres). Når det sekundære magnetfelt fjernes igen, vender magnetiseringen tilbage til ligevægt, og forskerne måler signalet fra denne proces.

princip, som MR-skannerne på vore hospitaler bygger på. Kort fortalt udnytter man i MR-skannere, at atomkerner besidder en kvantemekanisk egenskab kaldet spin, som producerer en svag magnetisering. Denne magnetisering er tilbøjelig til at rette sig ind i forhold til retningen af et ydre magnetfelt, som i MR-skannere laves med kraftige magneter. Ved efterfølgende at anslå (excitere) atomkernerne med radiobølger med den rette frekvens, vil deres spin blive drejet væk fra den foretrukne retning langs skannerens magnetfelt. Når radiobølgen slukkes igen, vil spinnene igen rette sig ind i forhold til magnetfeltet, og i den proces udsender atomkernerne radiobølger, som kan opfanges af følsomme antenner. Disse signaler bruger man i forbindelse med MR-skanning af patienter til at danne billeder af kroppens væv. Mere konkret er det hydrogenkerner (dvs. protoner), man måler på i ho-

spitalsscannere, og størstedelen af hydrogenkernerne i kroppen sidder i – ja, vandmolekyler.

Signal fra vandet

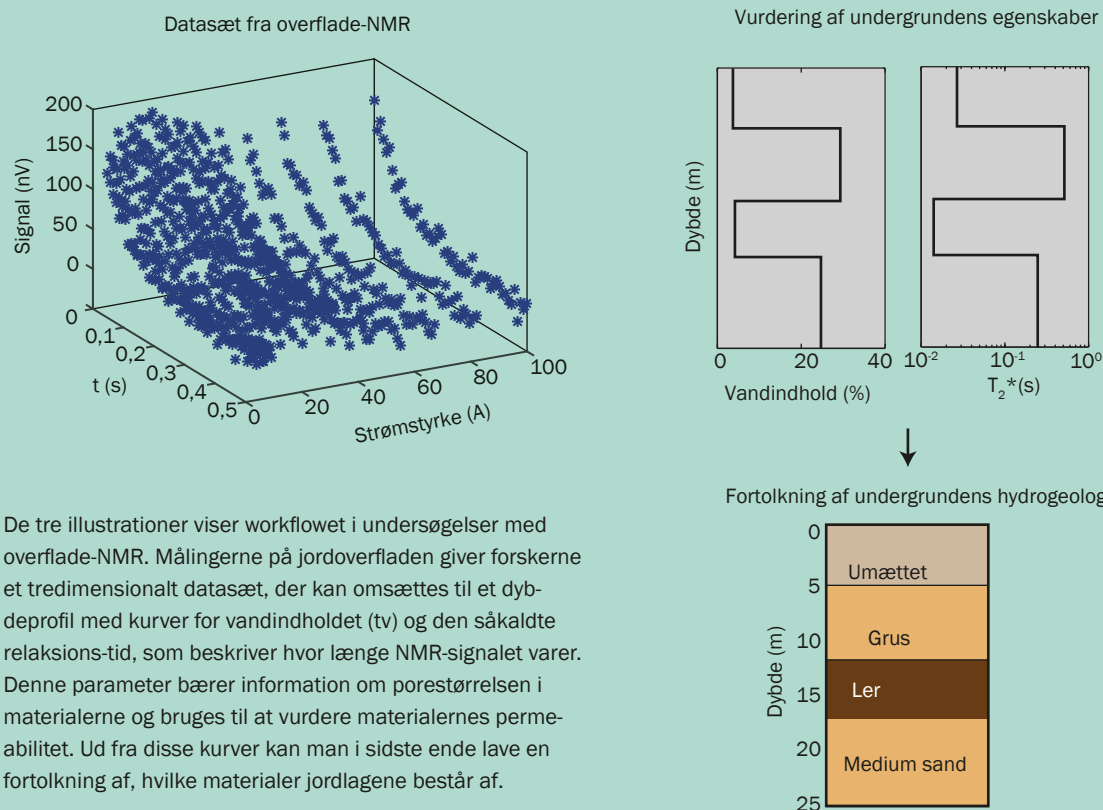
I MR-skannere og andre instrumenter til NMR-analyser bruger man som nævnt meget kraftige magnetfelter til at rette atomkernernes spin ind efter. Derfor skulle man umiddelbart ikke tro, at metoden kan bruges til geofysiske undersøgelser i større skala i felten, for hvordan skulle man præcist kunne lave og styre et sådant magnetfelt i "fri luft"? Men her viser det sig, at man kan bruge Jordens magnetfelt til det formål. I vandmolekylerne i undergrunden, vil hydrogenkernernes spin således være tilbøjelige til at være rettet ind efter retningen af jordens magnetfelt. Man kan så ved kortvarigt at inducere et magnetfelt i jorden excitere hydrogenkernerne, og de vil efterfølgende – præcis som i MR-skanneren – udsende

et signal, når de igen retter sig ind efter jordens magnetfelt. Signalerne er dog meget svage, og derfor gik der mange år fra princippet blev foreslået tilbage i 1960'erne til russiske forskere kunne demonstrere metoden i praksis i 1980'erne. Siden er både hardware og databehandlingsteknikker blevet udviklet til et stade, så man i dag kan købe kommercielt udstyr til overflade-NMR.

Undersøgelserne foregår ved, at man lægger en stor spole (op til 100 meters sidelængde) ud i det område, man vil undersøge. Størrelsen på spolen afgør, hvor stor en dybde, man kan måle ned til – som tommelfingerregel er det 75 % af sidelængden.

Man sender derefter korte strømpulser gennem spolen for at inducere et magnetfelt, der exciterer hydrogenkernerne i undergrunden

Workflowet i undersøgelser med overflade-NMR



De tre illustrationer viser workflowet i undersøgelser med overflade-NMR. Målingerne på jordoverfladen giver forskerne et tredimensionalt datasæt, der kan omsættes til et dybdeprofil med kurver for vandindholdet (tv) og den såkaldte relaxations-tid, som beskriver hvor længe NMR-signalet varer. Denne parameter bærer information om porestørrelsen i materialerne og bruges til at vurdere materialernes permeabilitet. Ud fra disse kurver kan man i sidste ende lave en fortolkning af, hvilke materialer jordlagene består af.

ved deres resonansfrekvens (som er i området 1-3 kHz afhængigt af, hvor på jorden, man befinder sig). Efter sendepulsen (og en kort pause) skifter spolerne til modtager-tilstand, hvorefter de optager NMR-signalerne. Ved at gentage målingerne og variere energimængden i sendespolerne, kan man variere den dybde, man får signaler fra.

Signalerne giver forskerne et direkte mål for mængden af vand og fortæller desuden om, hvor store porerummene er i de materialer, hvor vandet befinder sig. Det sidste er en vigtig parameter i forhold til at vurdere, hvor let vandet kan strømme i materialerne (permeabiliteten), som jo afgør, om vandet er til at pumpe op.

Støjproblemet

At man kan købe kommercielt udstyr til overflade-NMR-målinger betyder dog ikke, at der ikke er

plads til forbedringer – langt fra. Og det er netop baggrunden for Denys' forskningsprojekt. Den største udfordring er, at NMR-signalerne er så svage, at de overgås med mange størrelsesordner af støj fra omgivelserne.

Den primære støjkilde stammer fra vores eget elnet, og i et land som Danmark er man jo sjældent langt fra denne støjkilde. En anden væsentlig støjkilde er elektromagnetisk, atmosfærisk støj, som bl.a. kan stamme fra lynnedslag. Det skulle man umiddelbart tro ikke var det store problem, hvis man blot undlader at måle i tordenvejr. Men den elektromagnetiske støj fra lynnedslag kan udbrede sig tusinder af kilometer, så det hjælper ikke stort, at der er fint og tordenfrit vejr på målelokaliteten.

Signal/støjforholdet er sådan, at signalerne fra hydrogen i under-

grunden måles i størrelsesordenen 10-100 nanovolt, mens støj fra omgivelserne typisk måles i millivolt. For at få brugbare resultater ud af målingerne, bruger man derfor avancerede signalbehandlingsteknikker til at filtrere støjen fra og isolere NMR-signalet. Uanset at man ved smart databehandling har nået gode resultater, står det forskerne krystalklart, at hvis overflade-NMR for alvor skal blive udbredt som geofysisk teknik, skal forholdet mellem støj og signal reduceres betragteligt.

Nye pulser giver stærkere signaler

De fleste forskere, der arbejder med at forbedre signal/støj-forholdet, fokuserer på at reducere støjen. Denys satser omvendt i sit projekt på at øge styrken af NMR-signalet, hvilket både handler om den måde, man sender og modtager signalerne på. I eksisterende teknologi til

Mere information

Legchenko, A., and P. Valla, 2002, A review of the basic principles for proton magnetic resonance sounding measurements: *Journal of Applied Geophysics*, Volume 50, Issue 1-2, Pages 3-19.

Grunewald, E., Grombacher, D., and D. Walsh, 2016, Adiabatic pulses enhance surface nuclear magnetic resonance measurements and survey speed for groundwater investigations: *Geophysics*, Volume 81, No. 4, Pages WB85-WB96.

Foto: Lars Kruse.

overflade-NMR er sendesignalet en puls af vekselstrøm med en fast amplitude og frekvens i et bestemt tidsinterval (20-40 millisekunder). Til forskel vil Denys i sit projekt bruge en strømpuls, hvor frekvensen varieres, mens den står på (man kalder det en adiabatisk puls). Fordelen ved det er, at det påvirker hydrogenkernernes spin på en måde, der er mindre følsom overfor "ujævnheder" i det magnetfelt, man inducerer i jorden. I virkeligheden er dette et forsøg på at overføre en metodik, der har været kendt fra medicinske MR-skannere i årtier.

Resultatet skulle gerne blive, at man får stærkere signaler. En ny afhandling, som Denys er medforfatter på, viser, at amplituden af signalet kan øges med en faktor 3.

I forhold til at modtage signalet er ideen i Denys' projekt at bruge en serie af modtagere, som samtidigt



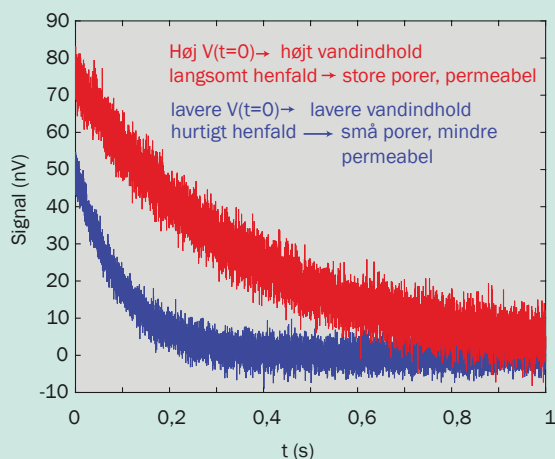
måler signalet fra mange positioner. Ideen er, at kombinationen af alle disse målinger kollektivt kan forbedre evnen til at afbille de vandledende lags egenskaber.

En forbedret værktøjskasse

En forbedret overflade-NMR-metodik vil være et stærkt supplement til SkyTEM i værktøjsskassen til grundvandsundersøgelser. Mens SkyTEM hurtigt og effektivt kan give det store overblik, giver overflade-NMR det højopløste billede med et direkte mål for vandindholdet i undergrunden – alt sammen, uden at stikke bor eller andet udstyr ned i jorden.

Kan man så forestille sig, at overflade-NMR med tiden kan blive luftbåret? Det mener Denys næppe er realistisk, men man skal selvfølgelig aldrig sige aldrig. I første omgang er det mere interessant, at gøre det muligt at få bedre resultater med metoden tæt på byer, hvor behovet for drikkevandsressourcer i sagens natur er størst, men hvor støj fra elnettet samtidig er mest generende. Går alt efter Denys plan, vil hans projekt bringe os meget tættere på det mål. ■

NMR-signaler og strømpulser



Figuren illustrer, hvordan NMR-signalet fra undergrunden tager sig ud for forskerne, og hvad forskelle på signalet afslører om vandindholdet og egenskaberne af de vandførende lag. Illustration: Denys Grombacher.

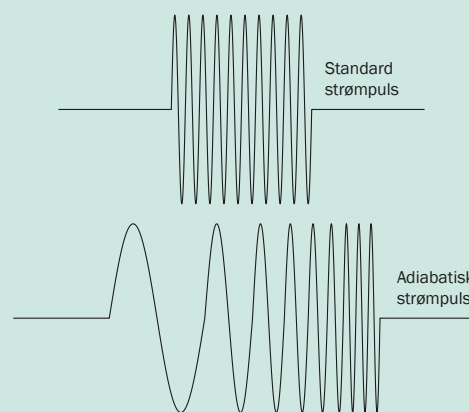


Illustration af forskellen på en strømpuls, man normalt bruger til undersøgelser med overflade-NMR, hvor frekvensen er konstant, og en "adiabatisk strømpuls" med varierende frekvens, som Denys og kolleger vil bruge. I en adiabatisk strømpuls kan amplituden også variere, men det er dog ikke muligt med det udstyr, Denys bruger.

GYMNASIELÆRERDAGE 2016/17

– FAGLIGE INSPIRATIONSDAGE MED NYT FRA
FORSKNINGENS OG UNDERVISNINGENS VERDEN

ASTRONOMIDAG: Fredag d. 24. marts 2017

BIOLOGILÆRERDAG: Fredag d. 28. oktober 2016

FYSIKLÆRERDAG: Fredag d. 20. januar 2017

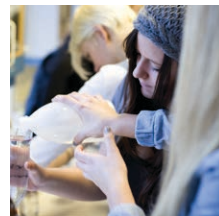
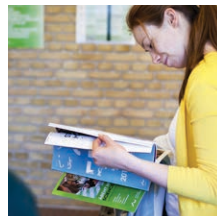
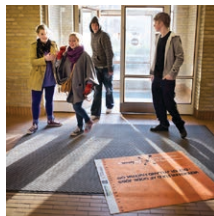
KEMILÆRERDAG: Fredag d. 13. januar 2017

MATEMATIKLÆRERDAG: Fredag d. 24. marts 2017

NATURGEOGRAFI- OG GEOVIDENSKABLÆRERDAG: Torsdag d. 10. november

TEKNIK- OG TEKNOLOGIDAG FOR LÆRERE: Torsdag d. 17. november 2016

TEKNOLOGIHISTORIELÆRERDAG: Torsdag d. 27. oktober 2016



Institutterne ved fakultetet Science and Technology inviterer til gymnasielærerdage med bl.a. faglige foredrag med nyt fra forskningen, ideer til emner I kan benytte i undervisningen og præsentation af instituttets tilbud til gymnasier.

Du kan desuden netværke med undervisere fra andre gymnasier.

Gymnasielærerdagene har fri adgang, men kræver tilmelding

LÆS MERE PÅ [SCITECH.AU.DK/GYMNASIELÆRERDAG](https://scitech.au.dk/gymnasielærerdag)



COMPUTERSPIL TÆMMER ATOMERNES VERDEN

Spillet Quantum Moves viser vejen hen mod fremtidens supercomputere ved at finde nye måder at løse problemer inden for kvantefysik.

I kvantefysik beskrives atomers og molekylers bevægelse som om, de er bølger, der udbreder sig gennem rummet på samme måde som dønningerne fra et skib udbreder sig på en havoverflade. Fysikere kan beregne bølgens form og bevægelse ved at løse en bestemt matematisk ligning, Schrödingers ligning. Højden af den teoretisk beregnede bølge

på forskellige steder angiver, hvor sandsynligt det er, at man i et eksperiment vil finde atomet netop der. Vi ved altså ikke med sikkerhed, hvor atomet er, før vi har målt det, og indtil målingen finder sted, er det som om, atomet er flere steder på samme tid.

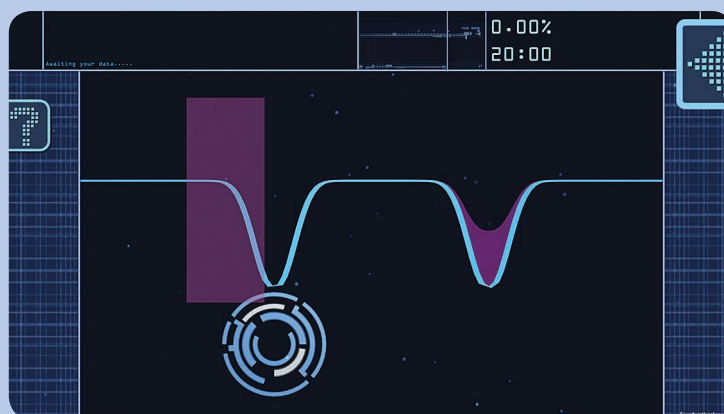
Det er de mikroskopiske partiklers mærkværdige evne til at være flere

steder og have flere egenskaber på samme tid, som vi forsøger at anvende i kvantecomputeren.

I en klassisk computer benyttes strømme og spændinger til at repræsentere data i form af bits, således at fx to forskellige elektriske spændinger svarer til de to mulige talværdier 0 og 1. Hvis man i stedet lagrer informationen om

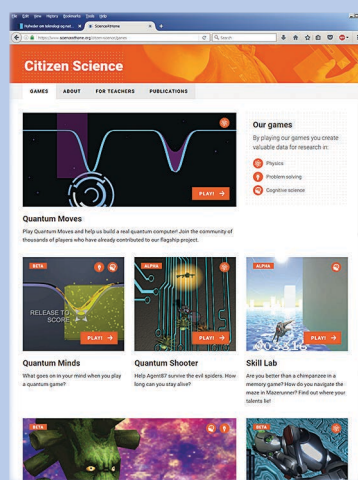
Bring Home Water niveauet i Quantum Moves. Laserstrålerne i eksperimentet danner de brønde, der bliver vist med den lyseblå streg. Den lilla væske, som man kan se, er atombølgen. Når man spiller, flytter man på brønden ved hjælp af musen eller fingeren.

← To meget unge gamere prøver kræfter med spillet Quantum Shooter sammen med Jacob Sherson i forbindelse med Forskningens døgn. Foto: Lars Kruse

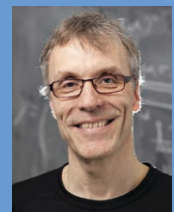


Du kan også forske

På scienceathome.org findes flere spil hvor du kan hjælpe med til at løse diverse forskningsproblemer inden for alt fra psykologi til kvantefysik. Du kan fx prøve at spille Alien Game, der undersøger hvordan virksomheder løser problemer, eller Quantum Minds, der studerer, hvordan vi som mennesker lærer og finder på nye ideer. Du kan selvfølgelig også finde Quantum Moves, der igennem en række spil finder løsninger til, hvordan vi kan bygge en kvantecomputer, eller Skill Lab der kigger på hvilke kognitive evner der gør os gode til at spille forskellige spil. Der kommer hele tiden flere spil op på siden, og en del af spillene er også tilgængelige på smartphones.



Mads Kock Pedersen, leder ScienceAtHome's didaktiske afdeling og arbejder med, hvordan computerspil kan bruges i undervisning og til forskning. madscock@phys.au.dk



Klaus Mølmer, er professor i kvantefysik og arbejder med kvantecomputere og teori for målinger i kvantefysikken. moelmer@phys.au.dk



Jacob Friis Sherson, er lektor i kvantefysik og arbejder med hvordan computerspil kan hjælpe til at designe en kvantecomputer under udvikling i hans laboratorium. sherson@phys.au.dk

Alle tre er tilknyttet Institut for Fysik og Astronomi på Aarhus Universitet og forskningsprojektet ScienceAtHome.org.

bitværdierne 0 og 1 ved, at et atom er på et eller et andet sted, er det ifølge kvantefysikken muligt at være i en tilstand, som på samme tid repræsenterer talværdierne 0 og 1. Sådan en bit kaldes en *kvantebit*. To atomer kan så på samme tid repræsentere de fire muligheder 00, 01, 10 og 11 og med flere endnu kvantebits kan vi arbejde med tal med mange cifre og på samme tid udføre beregninger på mange tal: Kvantefysikken indebærer fantastiske muligheder for at løse meget svære regnestykker.

Skal kunne bruges til noget

En kvanteberegning er en fysisk proces, som først er afsluttet, når computerens endelige resultat er blevet udlæst ved en måling. Udviklingen af en praktisk kvantecomputer handler især om at sikre, at løsningen til Schrödingers ligning fører til et måleresultat, vi kan bruge til noget. Den amerikanske matematiker Peter Shor foreslog i 1994 en computeralgoritme, der kan udnytte

kvantefysikken til effektivt at finde primfaktorer i store tal, dvs. de primtal, der ganget med hinanden giver det store tal. Det er svært at finde faktorerne til meget store tal, og det udnytter man til at kryptere beskeder, fx hver gang man bruger sin e-mail eller netbank. I en hyppigt anvendt kode blandes en hemmelig tekst med et meget stort tal og bliver derved gjort ulæselig. Resultatet kan afkodes til den oprindelige besked ved en beregning, der kræver kendskab til det store tals faktorer – som kun den retmæssige modtager af beskeden forventes at have. Disse krypteringssystemer kan altså brydes med en kvantecomputer, og især efterretningstjenester støtter derfor både offentlig og dybt fortrolig forskning i kvantecomputere.

I 1997 supplerede den indisk-amerikanske datalog Lov Grover med en kvantemekanisk algoritme, der tillader effektiv søgning efter elementer i en database, og i de seneste år er

der kommet fokus på kvantecomputerens evne til at løse svære problemer i fysikken og kemien. Moderne industriel tilvirkning af medicin, kemiske stoffer og komponenter til energi- og miljøteknologier kræver forståelse af komplekse materials opførsel på et mikroskopisk, atomart niveau, hvor det er meget vanskeligt at foretage præcise beregninger. Med en særlig energieffektiv produktion af kunstgødning som eksempel viste en analyse for nyligt, at en kvantecomputer ville kunne lave beregninger på få dage, som vil tage flere år på en konventionel computer.

Kunsten at styre enkelte atomer

Konstruktionen af kvantecomputeren, der regner ved hjælp af enkelte atomer, er en formidabel teknisk udfordring. Erwin Schrödingers sammenlignede i 1950'erne ideen om at udføre rigtige forsøg på et enkelt atom med den absurde tanke at opdrætte fortidsøgler

i zoologiske haver. Absurd eller ej – de tekniske muligheder har udviklet sig, og fra omkring 1980 har man i fysiklaboratorier kunnet fange og studere atomer ved hjælp af magnetfelter og laserlys. For at udnytte deres paradoksale egenskaber i en kvantecomputer skal man ikke alene kunne fange og iagttage disse kvantemekaniske partiklers opførsel, men også styre deres bevægelse og indbyrdes vekselvirkninger, ligesom vi styrer de elektriske strømme i en almindelig computerchip.

Blandt flere forslag til, hvordan det kan gøres, udviklede vi i Aarhus en protokol, hvor atomer fastholdes og flyttes rundt mellem hinanden ved hjælp af laserstråler. Når to atomer er tæt på hinanden, opstår de ønskede kræfter imellem dem, der udnyttes i beregningerne. Men

når vi flytter atomerne, skal vi passe på, at bølgerne ikke "skvulper" over, så de bliver tabt undervejs, eller de følgende regneoperationer giver forkerte resultater.

Forskning som computerspil

En udfordring i protokollen er, at det er svært at løse Schrödingers ligning for atomernes bevægelse og derfor endnu sværere at finde den bedste og hurtigste måde at flytte atomet. Vi var derfor nødt til at lave computersimuleringer af, hvordan atomerne bevæger sig, afhængigt af hvordan laserstrålerne ændrer sig, og vi programmerede så computeren til at søge efter den bedste måde at kontrollere laserne.

Det viste sig at være en svær opgave for vores computer. Inspireret af forskningsprojekterne *FoldIt* og *EyeWire*, der havde omsat lignende

problemer om proteinfoldning og hjernens opbygning til computerspil, tog vi vores computersimuleringer af atomerne og omdannede dem til spillet *Quantum Moves*. I spillet vises laserstrålen, som flytter rundt på atombølgerne, som en brønd, der kan kontrolleres med computermusen eller en finger på en skærm. *Quantum Moves* repræsenterer den abstrakte matematik, der ligger bag ved kvantefysikken, som en væske, hvis bølgeskulp giver sandsynlighedsfordelingen for atomernes position. Det er hermed gjort både muligt og rigtigt sjovt for helt almindelige mennesker uden kendskab til matematik og kvantefysik at hjælpe med at løse et svært forskningsproblem.

Spillere overgår computeren

Quantum Moves består af en række niveauer, der hver især fokuserer

Findes kvantecomputeren allerede?

Der findes allerede kvantecomputere rundt omkring i verden. Den største kvantebaserede computer er D-Wave, som regner på 1000 superledende kvantebits. D-Wave kan dog kun bruges til at løse en specifik gruppe af optimeringsproblemer, og der bliver brugt meget tid på at undersøge, om den overhovedet er hurtigere end normale computere. Derfor er der



også en del diskussion om, hvorvidt D-Wave er en rigtig kvantecompu-

ter. De største af de mere traditionelle kvantecomputere består af omkring 14 kvantebits. Og hvis du selv skulle have lyst til at prøve at bruge en kvantecomputer, har IBM lige åbnet for, at alle frit kan prøve at bruge deres 5 bits kvantecomputer igennem the IBM Quantum Experience. Foto: Demonstration på en tablet i IBM's Quantum Lab. Foto: Jon Simon/IBM

Kvanteteknologier på markedet

Der findes en række forslag til, hvordan man kan bygge en kvantecomputer ved hjælp af neutrale atomer, lys, elektroner, ioner, molekyler, halvledermaterialer eller superledende kredsløb. Forskere ved danske universiteter har leveret mange vigtige resultater til udvikling af kvantecomputere, der

benytter disse meget forskellige teknologier.

I 2016 er der i Danmark blevet oprettet et Quantum Innovation Center, QuBiz, hvor universitetsforskere i samarbejde med 18 højteknologiske virksomheder vil udvikle og markedsføre kvanteteknologier.

Der findes også lignende initiativer internationalt: I Storbritannien har man søsat et femårigt projekt til 2,7 mia. kr., og EU har netop annonceret et "Forskningsflagskib" til 7,5 mia. kr., som danske forskere også kan ansøge om til udvikling af brugbare kvanteteknologier, herunder en kvantecomputer.

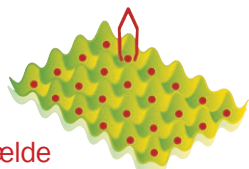
Kvantecomputeren

1 Bits



Bits er computerens alfabet. En bit er enten "0" eller "1", og alle ord og instruktioner i en computer er i virkeligheden bare lange strenge af bits.

I en normal computer kræver komplicerede beregninger kæmpestore bitstrenge og en meget lang beregningstid.



4 Atomfælde

En kvantecomputer har brug for mange qubits. For at opnå det laver vi en æggebakkestruktur ved at bruge lasere og placerer derefter et atom i hver fordybning eller brønd i strukturen.

For at lave beregninger skal atomerne lægges ovenpå hinanden. Det gør vi med en optisk pincet, som er en laser, der gør brøndene dybere samt flytter atomerne rundt.

2 Kvantebits

I en kvantecomputer er hver bit udskiftet med en kvantebit eller "qubit", som har den unikke evne, at den kan være "0" og "1" på samme tid!

Det betyder, at qubitstrenge kan repræsentere mange kommandoer simultant. Denne evne til at lave mange beregninger parallelt gør kvantecomputere enormt kraftfulde

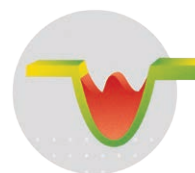


3 Nedkøling af atomer

I vores kvantecomputer er hver qubit et atom. For at isolere atomerne sløver vi deres bevægelse ved at køle atomerne ned til ekstremt lave temperaturer. Herefter er det muligt at fange atomerne ved at lyse på dem med en laser. Laseren danner en dal, som atomet glider ned på bunden af.

5 Atomet som bølge

Atomet er i virkeligheden ikke en rund partikel, men et kompliceret objekt, som kan fremstilles som en slags bølge. Når atomet flyttes, begynder bølgen at skvulpe rundt. Hvis atomet bevæges for stærkt, spredt bølgen sig ud over det hele. Det er meget skidt, når man laver beregninger på en kvantecomputer!



på en operation, som kan udføres i kvantecomputeren. Et af de niveauer, vi især har fokuseret på at forstå, har vi kaldt BringHomeWater. Her skal man flytte en tom brønd hen til en anden, fyldt brønd, samle atomet op og flytte det tilbage til start. Er der en lille barriere mellem brøndene, kan atomet ende op i den første brønd, lidt på samme måde som man med en såkaldt hævert kan flytte væske mellem to beholdere. I kvantefysikken kan man gøre det uden hævert ved en tunneleffekt, som vores spillere ikke vil have kendskab til, med mindre de har taget et kursus i kvantefysik.

Når vi så ser på, hvordan spillerne klarer sig i BringHomeWater, finder vi to meget interessante resultater. Det ene er, at spillerne helt uden problemer benytter tunneleffekten og altså har opnået en intuitiv forståelse for de underliggende mekanikker og udnyttet dem i praksis. Et andet helt epokegørende resultat er, at spillerne finder løsninger, som er markant bedre end de løsninger, som vores computer finder frem til!

Computerspil i undervisningen

Hvad er det som gør, at mennesker igennem Quantum Moves kan finde bedre løsninger end computere? Er det fordi, vi opnår en viden om kvantefysik ved at spille Quantum Moves, som vi kan udnytte? Eller er det fordi, vi udnytter en særlig menneskelig evne for hånd-øje koordination, som vi umiddelbart kan træne op til en helt ny situation? Vi har endnu ikke noget entydigt svar, men der er klare indikationer på, at spillerne har lært noget om kvantefysik fra computerspillet. Vi har

således modtaget beskrivelser fra spillere af, hvordan de har løst problemerne, og selvom de ikke bruger det samme ordforråd, beskriver de deres løsninger med de samme mekanismer og iagttagelser som en trænet kvantefysiker ville bruge.

Derfor har vi også brugt Quantum Moves i gymnasierne som en introduktion til kvantefysikkens forunderlige verden. Ved at bruge spillet i undervisningen giver vi eleverne de visuelle værktøjer til at kunne arbejde konkret med atomfysiske problemstillinger, samtidigt med at spilelementerne både underholder og motiverer de studerende til at arbejde selvstændigt og eksperimenterende med materialet.

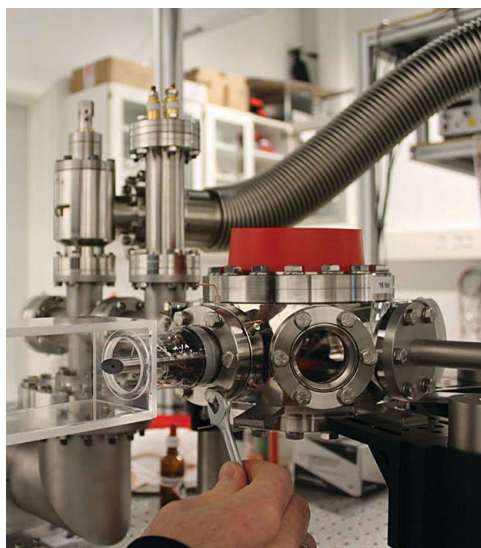
Vi arbejder nu på at udvikle spil, der er specifikt beregnet til undervisning. Et af vores mål er at lave en række spil, der fører den studerende hele vejen fra klassisk fysik op til, at man kan forstå, hvordan en kvanteputer virker.

Videre læsning:
Scienceathome.org

Klaus Mølmer "Kvantemekanik – atomernes vilde verden", Aarhus Universitetsforlag 2010.

Den kvantemekaniske computer: Aktuell Naturvidenskab nr. 2/2000.

Hør mere om kvantecomputeren
Tirsdag den 30. august 2016 holder Klaus Mølmer foredrag om kvantecomputeren i serien Offentlige foredrag i Naturvidenskab på Aarhus Universitet. Foredraget livestreames til en lang række byer over hele landet. Tjek programmet på scitech.au.dk/foredrag



← Foto: I denne opstilling kan forskerne fange atomer med lasere og foretage den første nedkøling af atomerne.
Foto: Scienceathome

MYSTERIET OM PÅSKEN

En kompliceret udregning bruges i dag til at bestemme, hvilken dag påskedag skal ligge. Men jættestuernes placering i landskabet inspirerer til en mere simpel løsning, der antyder en sammenhæng mellem et ældgammelt forårsritual og oprindelsen til påsken.



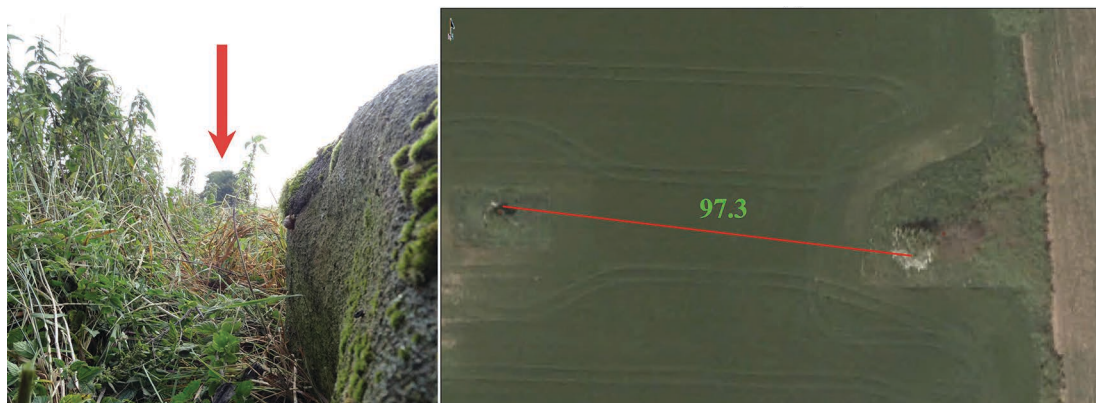
Claus Clausen er uddannet i fysik og astronomi på Niels Bohr Institutet. Han har netop indleveret en ph.d. i arkæoastronomi, som bl.a. handler om astronomiske fortolkninger af gravhøjes placering og orientering i landskabet. clausjoergenclausen@gmail.com

Da kristendommen blev indført i store dele af Europa for mere end 1700 år siden, beholdt man nogle af de datoer eller tidspunkter, hvor man også tidligere havde holdt ceremonier. Det var et smart træk. Midvinterfesten blev til Jesus fødselsdag, og midsommerfesten blev til Johannes Døberens fødselsdag, Skt. Hans dag, et halvt år senere.

Astronomisk set er midvinter omkring den 21. december og midsommer omkring den 21. juni, men Jesus fik sin fødselsdag den 24. december og Johannes Døberen den 24. juni. Da begge tidspunkter hænger sammen med, at solens opgangspunkt vender i horisonten, kan tidsforskellen måske forklares ved, at man tidligere lige skulle bruge et par dage for at være helt sikker på, at solen nu var vendt i

sin vandring i horisonten. Fuldmånen bevæger sig modsat solen i horisonten.

Påsken var en større udfordring. Påske falder på forskellige tidspunkter fra år til år, men hvordan hang det nu sammen? Det kan man undre sig over, for hvordan kan Jesus have variable døds- og genopstandelsesdatoer? Det betød tilsyneladende ikke noget i en reli-



På billedet tv ses gennem gangen fra en skævvædt jættestue på Samsø ved Tranebjerg mod den næste jættestue. På højre billede er markeret sigteretningen fra jættestuen på 97,3 grader mod den næste jættestue, som så er pejlemærket for den første. Luftfoto er fra Miljøportalen arealinfo.

LÆS MERE
NANO.AAU.DK/SRP

HJÆLP TIL DIT STUDIERETNINGS- PROJEKT?

**FÅ SPARRING AF DYGTIGE FORSKERE, OG LAV FORSØG
TIL DIT STUDIERETNINGSPROJEKT I DE VELUDSTYREDE
LABORATORIER PÅ AALBORG UNIVERSITET.**

DU KAN FÅ HJÆLP TIL EMNER SOM:

FYSIK

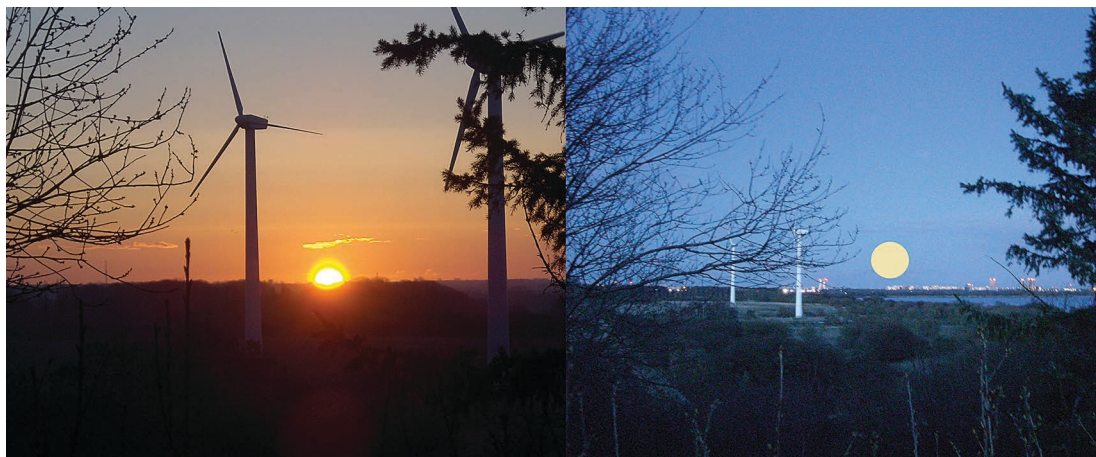
SUPERLEDNING
KVANTEMEKANISKE TUNNELEFFEKTER
UV-LITOGRAFI
BESTEMMELSE AF PLANCKS KONSTANT

KEMI/BIOTEKNOLOGI

METALLISKE NANOPARTIKLER
MICELLER
PEPTIDSYNTESE
ENZYMTEKNIK



AALBORG UNIVERSITET



Billedet viser crossover forår 2015 den 4. april. Venstre billede viser solopgangen i retningen 80 grader og højre billede viser forårsfuldmåneopgangen i retningen 101 grader ved solnedgang. Begge billeder er taget fra en bakke i Kystagerparken i Hvidovre. Læg mærke til positionen af de to vindmøller, som er brugt som pejlepunkter. Det var svært at se selve måneopgangen denne dag pga. skyer, så jeg har markeret månens position. Foto: Claus Clausen



Billedet viser crossover efterår 2015 den 27. september, hvor solopgang og fuldmåneopgang er modsat foråret. Venstre billede viser solopgangen i retningen 91,8 grader og højre billede viser fuldmåneopgangen i retningen 91,4 grader ved solnedgang. Dagen før stod månen op i retningen 100 grader. Den meget lille vinkelforskel gør, at man først ville opdage crossover dagen efter, hvis man ikke har et meget præcist pejlemærke. Begge billeder er taget fra en position i Ørestaden og pejlemærket er et Vandtårn i Tårnby på Amager. Den efterfølgende måneformørkelse den 28. september om aftenen var synlig og tydelig fra en skyfri himmel. Foto: Dorthie Friis Pedersen

gjøs sammenhæng. Det var mere vigtigt at finde en beregningsmetode, der kunne fastlægge påsken og dermed beholde det tidspunkt eller de tidspunkter, hvor man tidligere holdt et forårsritual.

Man var klar over, at bestemmelse af påsketidspunktet involverede både solen og månen, men bare ikke hvordan. Derfor har man siden kristendommens indførelse forsøgt sig med forskellige beregningsmodeller, som gennem tiderne har givet anledning til mange diskussioner. Man regner normalt med, at de første kristne mere eller mindre kopierede den

jødiske model i forhold til, hvordan og hvorledes man skulle holde påske.

Beregning af påsken

I fastlæggelsen af påsken spiller søndag en vigtig rolle, da Jesus tilsyneladende døde en fredag og genopstod en søndag (påskedag). For at gøre en lang historie kort besluttede man i år 325 på kirkemødet i Nikæa at: *Påsken falder altid på den første søndag efter første fuldmåne efter forårsjævndøgn*. Det kan man kalde en tommelfingerregel. Yderligere besluttede man, at forårsjævndøgn altid skal være den 21. marts (hvilket ikke er

korrekt), og at påsken derfor skulle falde fra den 22. marts til den 25. april.

“Tommelfingerreglen” virker dog ikke altid efter hensigten, hvis fuldmånen ligger for tæt på forårsjævndøgn. Fx hvis det er fuldmåne 4 timer efter jævndøgn, ville man tidligere ikke med sikkerhed kunne sige, at det havde været fuldmåne. I dag kan vi beregne det meget præcist, og så giver det ikke problemer. Men for at få det til at fungere bedre dengang brugte man tilnærmelser og cyklusser. Fx kendte man til månens 19-års cyklus, hvor månen optræder i samme fase på

samme dato med 19 års mellemrum. Det er dog en tilnærmelse, som ikke holder i længden.

I 1500-tallet udtænkte matematikeren Gauss så en lidt indviklet regnemetode, der kunne fastlægge påsken både i forhold til den Julianske og den Gregorianske kalender (hvor sidstnævnte er den, vi anvender i dag). Gauss' metode fungerer i de fleste tilfælde, men ind i mellem er den i modstrid med tommelfingerreglen. Det kan ske med 9, 10 eller 19 års mellemrum. Og her er der en pointe, at jo mere indviklet, det bliver, jo større sandsynlighed er der for, at det ikke fungerer generelt – dvs. at regnestykket ikke altid virker. Men det er altså den model, vi bruger i dag.

Hvad jættestuerne fortæller

I mine snart 10 års studier af jættestuer og dysser med gang, har der tegnet sig et billede af, at retningerne af gangene koncentrerer sig i tre retninger. Disse tre retninger kan alle knyttes til bestemte fuldmåneopgange. Specielt en af retningerne er særlig interessant. Det er den retning, hvor forårsfuldmånen står op omkring 100 grader, regnet fra Nord med uret. Denne retning kaldes også skæv-øst. Retningen skæv-øst er den retning mod horisonten, hvor fuldmånens opgangspunkt om foråret bytter plads med solens opgangspunkt. Denne fuldmåne er defineret som forårsfuldmånen, da den optræder omkring forårsjævndøgn.

Det slog mig derfor, at der kunne være en sammenhæng mellem forårsfuldmånen og påskefuldmånen (bestemt af tommelfingerreglen). En hurtig sammenligning mellem forårsfuldmåner og påskefuldmåner viste, at der var omkring 80 % sammenfald over en periode på 100 år. Det er højt nok til, at jeg formoder, at der kan være en sammenhæng.

Beregning af forårsfuldmåner ved crossover

Inden for arkæoastronomien kalder man det et crossover, når fuld-

månens og solens opgangspunkter i horisonten bytter plads. Tidspunktet kan bestemmes ret præcist, når fuldmånens opgangsvinkel (astromisk: azimut) bliver større end solens. Det er beregningsmæssigt ret simpelt.

Observationer over længere tid vil vise, at når fuldmånens opgangsvinkel er omkring 100 grader, så har crossover fundet sted. I 2010 fandt crossover sted tirsdag den 29. marts i retningen 101 grad, den ægte (100 %) fuldmåne var den 30. marts og efterfølgende bliver påskedag så søndag den 4. april. I 2019 sker det den 22. marts, og påskedag bliver så efterfølgende søndag den 24. marts.

Tommelfingerreglen og crossover følges ikke altid ad. Beslutter vi, at påskedag skal være første søndag efter forårsfuldmånen (crossover-fuldmånen), er der et sammenfald på 92 % mellem påsketidspunktet og forårsfuldmånen, hvis påskedag skal ligge efter forårsjævndøgn. Nogle af forårsfuldmånerne vil ligge et par dage før forårsjævndøgn, men søndagen altså stadig efter.

I de resterende 8 % vil påskedag ligge før forårsjævndøgn. Grunden til, at der falder fuldmåner uden for påskeintervallet, er, at forårsfuldmånen har en periode på 42 døgn og ikke 35 døgn som angivet for påskefuldmånen.

Det procentvise høje sammenfald giver dog anledning til at formode, at det reelt kan være en 5000 år gammel tradition med bestemmelsen af forårsfuldmånen, der er oprindelsen til det, vi nu kalder påsken.

At man så senere forsøgte at finde ud af, hvordan forårsritualet blev bestemt tidligere, men ikke kunne gennemskue det, er en anden historie. En historie, hvor man prøvede med forskellige metoder, der både involverede månen og solen.

En ny tommelfingerregel

En finurlighed er, at retningen for forårsfuldmånen omkring 100 grader også er retningen for den "fuldmåne", der optræder en til to dage før crossover om efteråret. Så i princippet behøver man kun at se i retningen omkring 100 for både at bestemme både forårstidspunktet og efterårstidspunktet. I 2015 stod "efterårsfuldmånen" op i retningen 100 grader den 26. september og indikerede således crossover-fuldmånen den 27. september. Både ved crossover om foråret og om efteråret var der i 2015 i begge tilfælde en måneformørkelse. Og netop måneformørkelserne kunne være en årsag til, at man allerede i forhistorisk tid var særligt opmærksom på disse to tidspunkter. Måneformørkelser, der finder sted i forbindelse med crossovertidspunkterne er af en bestemt type, som optræder i par med 9 og 10 års mellemrum. Så påsken var måske således tidligere et markant måne/sol-ritual, som man afholdt gennem mere end 1000 år fra ca. år 4000 før vores tidsregning til ca. år 2800 før vores tidsregning. Hvis det er rigtigt, kan oprindelsen til påske meget vel gå næsten 6000 år tilbage i tiden – til begyndelsen af det, vi kalder Tragtbægerkulturen.

På et tidspunkt må viden om netop forårs- og efterårsfuldmånen være gået tabt – fx pga. krige og folkevandringer. Og da man så igen havde brug for at bestemme forårstidspunktet ved kristendommen indførelse, kunne man ikke helt gennemskue, hvordan tidspunktet skulle bestemmes. Det førte så til mange diskussioner, der endte med, at man brugte den metode, som Gauss udviklede.

Jeg kunne sluttelig fristes til at formulere en ny "tommelfingerregel" at: *Forårsfesten skal falde på den første søndag efter forårsfuldmånen*. Da definitionen af forårsfuldmånen er ret simpel, vil vi derfor altid få det rigtige tidspunkt, uanset hvad vi ellers tænker og tror om verden. ■

Kilder

Den Store Danske: Beregning af påskedagens dato.

<http://videnskab.dk/sporg-videnskab/hvorfor-falder-pasken-som-den-gor>

Claus Clausen: Dobbelt-Sol. *Aktuel Naturvidenskab*, nr. 1-2011

Ekstra materiale:

På hjemmesiden er der ekstrap materiale til artiklen, der viser Gauss' metode og et regneeksempel for år 2019. Se aktuelnaturvidenskab.dk/nyeste-numre/3-2016

Videre læsning

Claus Clausen: En 6000 år gammel kalender. *Aktuel naturvidenskab*, nr. 4-2012 aktuelnaturvidenskab.dk/fileadmin/Aktuel_Naturvidenskab/nr-4/an4-2012kalender.pdf

Clausen, C., 2014: "West Iberian Megalithic Tombs and the 'Lunar Season Pointer'". *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 14, No. 3, 143-153 <http://maajournal.com/Issues/2014/Vol14-3/Full14.pdf>

Claus Clausen: Neolithic Cosmology. *Adoranten* 2014

LANDBRUGS-PAKKEN

– et risikabelt kvælstofeksperiment?

I den nyligt vedtagne Landbrugspakke erstattes de tidligere generelle normer for udbringning af gødning af økonomisk optimale normer, frivillige ordninger og målrettet regulering. Ifølge regeringen vil pakken være til gavn for både landbrug og havmiljø. Men vores revurdering af data tyder på et risikabelt kvælstofeksperiment i fuld skala.

Forfatterne



Jens Borum, lektor på Ferskvandsbiologisk Laboratorium
JBorum@bio.ku.dk



Kaj Sand-Jensen, professor på Ferskvandsbiologisk Laboratorium
KSandJensen@bio.ku.dk



Hans Henrik Bruun, lektor på Sektion for Økologi og Evolution
HHBruun@bio.ku.dk

Alle tre ved Biologisk Institut, Københavns Universitet

Ifølge EU's Vandrammedirektiv skal Danmark nå en målsætning om god økologisk tilstand i havmiljøet i 2021 og allersest i 2027. I dag opfylder mindre end 10 % af de danske fjorde og kystnære farvande målsætningen. Det er beregnet, at udledningen af kvælstof (N) til havet skal reduceres fra et niveau i 2015 på 57.000 til 42.000 t N per år for at skabe grundlag for at opnå god økologisk tilstand.

Regeringen har lanceret Landbrugspakken som et tiltag, der både letter landmændenes rammevilkår og er positiv for især havmiljøet set over perioden fra 2016 til 2021. Skeptikere har anført, at pakken vil have væsentlige, negative effekter på sårbare naturtyper på land og i vand, på grundvandets nitratindhold og på miljøtilstanden i fjorde og kystnære farvande.

Diskussionerne om N-regnskabet har især handlet om tre forhold.

1) Den store positive effekt af udviklingen i "baseline", der skulle medføre et forventet fald i N-udvaskningen som følge af tidligere besluttede virkemidler og strukturelle ændringer i landbruget, uafhængigt af Landbrugspakken.

2) Nedsættelse af den beregnede marginaludvaskning af mertilført N fra over 30 til omkring 20 %.

3) Tvivl om hvorvidt de frivillige ordninger og den målrettede regulering, der fremover skal reducere udledningen af N vil kunne implementeres og være virksomme.

Punkterne er helt afgørende for regeringens regnskab.

Det faglige grundlag for Landbrugspakken bygger på omfattende og

komplerede vurderinger baseret på målinger, modeller og fremskrivninger af afgrødevalg og dyrkningspraksis. Det er stort set umuligt for fagfolk uden specialviden at læse og forstå rapporterne, og det er dermed tilsvarende svært at få overblik over Landbrugspakkens konsekvenser for miljøet. I denne artikel forsøger vi som et alternativ at vurdere Landbrugspakkens mulige konsekvenser for N-udledningen til havet ved hjælp af helt overordnede beregninger og betragtninger. Vores analyser bygger i al væsentlighed på offentliggjorte data samlet og beregnet af DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi – samt DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, begge Aarhus Universitet.

Grundlaget for N-regnskabet

Datagrundlaget består af tal for kvælstof i tilførsel, fraførsel ved høst, udvaskning fra marken og

Landbrugspakkens regnskab

Regeringen fremlagde et regnskab over Landbrugspakkens betydning for udledning af kvælstof (N) til havet i perioden 2016 til 2021. Alle tal er i tusinde tons N pr. år. Trods tallenes tilsyneladende præcision er de alle behæftet med betydelig usikkerhed.

Regnskabet angiver effekterne af Landbrugspakkens lempelser og indsatser samt baseline. Den væsentligste lempelse består i, at de generelle regler for udbringning af gødning erstattes af økonomisk optimal gødningstilførsel, som ligger op til 20 % højere end den tidligere norm.

På indsatssiden er det især de kollektive initiativer, som primært består af frivillige tiltag, og den målrettede regulering, der skal opveje den negative virkning af lempelserne. Vi har ikke kunnet finde præcise oplysninger om, hvordan den målrettede regulering rent faktisk

Tons N	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Randzoner	728	728	728	728	728	728
Normen	2.741	4.206	4.348	4.490	4.632	4.726
Forbud mod jordbearbejdning	51	51	51	51	51	51
Akvakultur	-	-	143	263	363	423
Sum lempelser	3.520	4.985	5.270	5.532	5.774	5.928
Forpagtningsordning	[x]	818	693	-	-	-
MFO	1.197	867	867	867	867	867
Kollektive indsatser (samlet)	382	843	1.451	2.059	2.668	2.907
Målrettet regulering	-	-	-	1.267	2.533	3.800
Sum indsatser	1.579	2.528	3.011	4.193	6.068	7.574
Difference	1.941	2.457	2.259	1.339	-294	-1.646
Baselineeffekt	2.467	3.084	3.701	4.317	4.934	5.551
Ændring i tilførsel	-526	-627	-1.442	-2.978	-5.228	-7.197

Kilde: Miljø- og Fødevarerministeriet, Dep., S 426, svar fra ministeren 12-01-2016.

tænkes udformet. Baselineeffekten er den nedgang i udledningerne af kvælstof, der skyldes bl.a. udtagning af arealer til veje og byer, indsats mod tilførsler fra atmosfæ-

ren, udvikling i høstudbytter samt effekter af tidligere politiske initiativer. Baseline-effekten er ikke en del af Landbrugspakken, men indgår alligevel i regeringens regnskab.

udledning til havet for perioden fra omkring 1990 til i dag.

Kun en del af den tilførte N optages i afgrøderne og fjernes med høsten. Forskellen mellem tilførsel og høst tabes til omgivelserne, herunder til grundvandet, vandmiljøet og i sidste ende havet. Tal for tilførsel af gødning og fjernelse af N med høsten bygger især på statistikker, herunder landbrugenes gødningsregnskaber. Tallene kan antages at være rimeligt retvisende.

Den del af tilførslerne, der vaskes ud af rodzonen, beregnes ved anvendelse af modeller (NLES - Nitrate Leaching ESTimator). Modellerne er komplicerede, idet de tager højde for forskelle i tilførsel, jordtype, afgrøder/sædskefter samt nedbør. Modellerne er vurderet overfor markforsøg, hvor man har målt nitratudvaskning (men ikke

udvaskning af organisk bundet N) fra rodzonen under forskellige vilkår. Modellerne kan være velegnede til at vurdere effekter af specifikke virkemidler – fx virkningen af efterafgrøder i et specifikt sædskifte på en bestemt jordtype. Faren ved de komplicerede modeller er imidlertid, at de kan være stærkt usikre, når de bliver skaleret op til udvaskningsestimater for hele landet.

Udledningerne af N til havet modelberegnes på basis af målinger af vandføring og koncentrationer af total N (nitrat, ammonium og organisk bundet N) på en lang række målestationer i vandløb fordelt ud over landet. Beregningerne normaliseres i forhold til år-til-år variationer i vandføring, der afhænger af forskelle i nedbør. Beregningerne tager ikke højde for den klimabetingede stigning i vandføring og

dermed N-udledning. Udledningsmodellen er ligesom NLES-modellerne behæftet med usikkerhed, men udledningsmodellen er mindre kompliceret, lettere at validere og derfor mindre usikker.

Historisk udvikling

Tilførslen af N til de dyrkede arealer sker primært via udbringning af handels- og husdyrgødning. Omkring 1990 blev det dyrkede areal tilført ca. 750.000 tons N pr. år, svarende til hvad 100.000 lastbiler med anhängere kan transportere i form af fast handelsgødning. Siden da har utallige handlingsplaner reduceret tilførslerne til i dag at ligge på godt 500.000 tons N pr. år.

Trods reduktionen i N-tilførslerne har landbruget ved en målrettet indsats med optimeret dyrkning stort set opretholdt høsten af N fra 1990 til i dag. Udnyttelsesgraden, bereg-

Kvælstoffets vej fra de dyrkede arealer til havet

Kvælstof (N) tilføres marken ved udbringning af husdyr- og handelsgødning, atmosfærisk nedfald og planternes kvælstoffiksering.

Over halvdelen af den tilførte N optages i dag i afgrøderne og fjernes med høsten. Forskellen mellem tilførsel og høst kan vaskes ud af rodzonen og videre ud i miljøet, tabes til atmosfæren ved fordampning af ammoniak eller som frit kvælstof eller lattergas eller ophobes i jordens N-puljer. I runde tal vil 30 % af den tilførte mængde i dag blive vasket ud af markens rodzone.

Den udvaskede del af kvælstoffet transporteres via grundvand, vandløb og søer ud til havet, men undervejs tabes hovedparten af kvælstoffet i de dybere jordlag, i søerne og ikke mindst ved denitrifikation i vådområder og vandløb. Det er således kun omkring 10 % af den tilførte N-mængde, der i sidste ende udledes til havet. Men det betyder også, at selv små usikkerheder på beregningerne kan føre til store procentvise forskelle i udledning, når man regner på de fremtidige effekter af Landbrugspakken.

Fotos: Colourbox



net som den procentvise mængde N høstet ud af den tilførte mængde, er øget fra omkring 45 % i 1990 til godt 55 % i dag.

Ifølge beregningerne er den årlige udvaskning af N fra rodzonen faldet fra omkring 300.000 t i starten af 1990'erne til godt 160.000 t. Udvaskningen har været stort set uændret i de seneste 10 år. Det afspejler, at der ikke er taget væsentlige politiske initiativer til at nedbringe udvaskningen yderligere siden år 2000. Udvaskningen udtrykt som andel af tilførslen lå i starten af 1990'erne på knap 40 %. I de seneste 10-15 år har udvaskningens andel ligget ret konstant på

et niveau omkring 31 %.

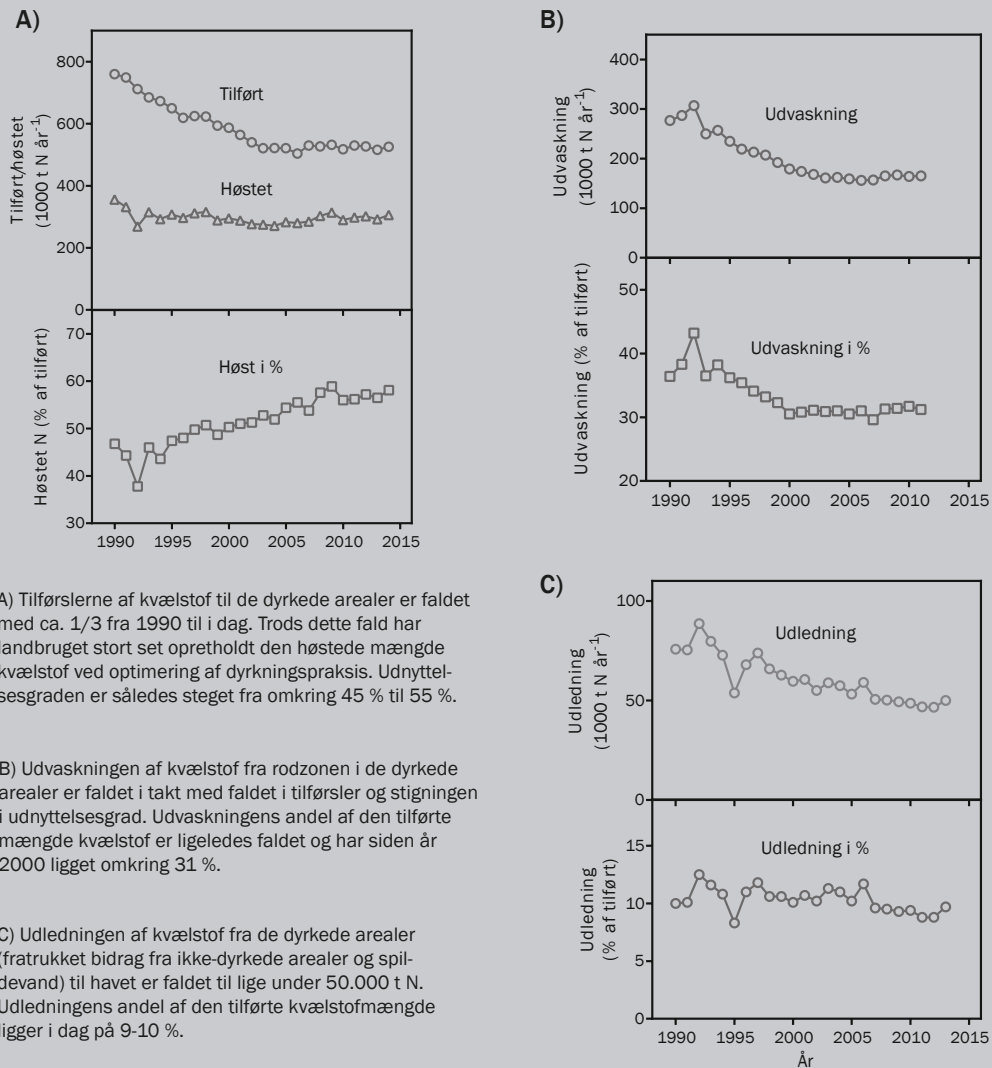
De udledninger til havet, som stammer fra de dyrkede arealer (dvs. korrigeret for bidrag fra spildevand og fra de ca. 35 % af det danske areal uden agerdyrkning), er faldet fra 75-80.000 t N i starten af 1990'erne til lidt under 50.000 t N pr. år. Udledningens andel af tilførslerne er faldet marginalt fra at udgøre 11-12 til nu 9-10 %.

Er effekten af baseline troværdig?

I regeringens regnskab reducerer den såkaldte baseline-effekt i 2021 udledningerne til havet med 5.551 tons. Baseline-effekten er helt

afgørende for, om N-udledninger i regnskabet stiger eller falder i perioden fra 2016 til 2021 og er dermed afgørende for, om Danmark overholder sine direktivforpligtelser. Regeringen har lavet sine beregninger på baggrund af en revideret baselinerapport udarbejdet af Aarhus Universitet. Vi har problemer med at vurdere grundlag og forudsætninger for den meget tekniske rapport og forstår ikke regeringens anvendelse af rapportens oplysninger. Forskerne bag rapporten har taget afstand fra regeringens opdeling af effekten på år og har i øvrigt påpeget, at baseline-effekten er meget usikkert bestemt og derfor løbende bør evalueres.

Udviklingen i kvælstofbalancerne fra 1990 til 2014



Det fremgår af rapporten, at den forventede udtagning af landareal til veje og byer i perioden fra 2013 til 2021 vil udgøre 106.000 ha, svarende til knap 4 % af det dyrkede areal. Hertil skal lægges effekter af omlægning til økologi, udbyttestigning i høstet N, reduktion af N-tilførslen fra atmosfæren til jorden m.m. Den beregnede baselineeffekt i 2021 svarer imidlertid til N-udledningen fra hele 12 % af det i 2012 dyrkede areal. Forskellen mellem de 4 og de 12 % så stor, at den beregnede baseline-effekt fremstår stærkt optimistisk. Uden at gå i detaljer vurderer vi efter gennemgang af de enkelte poster, at baseline-effekten snarere vil ligge på

omkring 2.500 tons N i 2021. Det vil således være lige så korrekt at se bort fra baselineeffekten som at medtage den. Derudover er baseline ikke en del af Landbrugspakken og skal derfor heller ikke medtages i regnskabet.

Udvaskning kontra marginaludvaskning

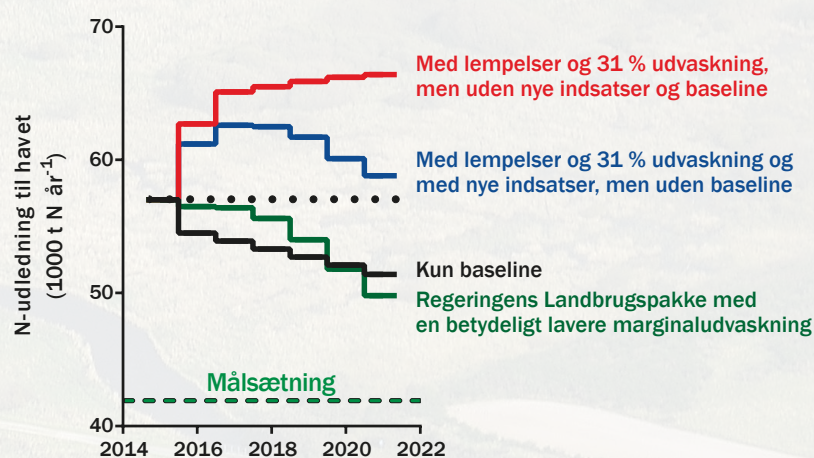
I Landbrugspakken anvendes NLES4 model-versionen til at estimere udvaskningen af den mertilførsel af N, som ændring af gødningsnormerne giver anledning til. Denne udvaskning kaldes marginaludvaskning og er godt 18 % af mertilførslen. Det er markant lavere end udvaskningen beregnet for den

nuværende gødningsnorm (31 %) og for marginaludvaskningen beregnet med en tidligere modelversion NLES3 (33 %). Konsekvensen for N-regnskabet er, at hvor ændringen af gødningsnormen i 2021 giver anledning til en merudvaskning på 4.726 t beregnet med NLES4, så vil merudvaskningen i stedet blive godt 8.000 t eller omkring 70 % højere ved anvendelse af den generelle udvaskningsprocent på 31 eller NLES3's typeudvaskning på 33 %.

Det er ikke umiddelbart gennemskueligt, hvorfor udvaskningsprocenten er så markant anderledes i den nye modelversion. Det fremgår heller ikke, hvor forskellen mellem

Prognoser for de samlede udledninger

Prognoser for de samlede udledninger af kvælstof til havet for perioden 2016 til 2021 (inklusive bidrag fra ikke-dyrkede arealer og spildevand) ved forskellige scenarier. Målsætningen for Vandrammedirektivets krav om opnåelse af god økologisk tilstand er på 42.000 t N år⁻¹



Uden Landbrugspakken, men med den optimistiske baselineeffekt, vil de samlede udledninger til havet gradvist falde fra udgangspunktet på 57.000 tons i 2015 til godt 51.000 tons i 2021. Landbrugspakken vil ifølge regeringens tal isoleret set give en forøgelse af udledningen i årene 2016 til 2019 men ender inklusive baselineeffekten med en samlet udledning på knap 50.000 tons i 2021, hvilket stadigvæk er langt fra målsætningen på de 42.000 tons.

Med vores beregning og uden inddragelse af baselineeffekt vil de forventede udledninger i hele perioden ligge væsentligt over den nuværende udledning (op til 62.000 tons). Estimeret forudsætter, at Landbrugspakkens planlagte frivillige indsatser samt den målrettede regulering når at blive implementeret i perioden og virker. Hvis indsatserne ikke bliver implementeret, vil udledningerne til havet i hele perioden ligge langt over det nuværende niveau

med en udledning stigende til godt 66.000 tons N i 2021. Det betyder, at afstanden til opnåelse af målsætningen på 42.000 tons stiger fra 15.000 tons i dag til 24.000 tons i 2021.

I den senest vedtagne Naturpakke er det aftalt at reducere N-udledningen i 2017 og 2018 med i alt 630 t. Reduktionen indgår ikke i overstående og har ikke væsentlig indflydelse på regnskab eller konklusioner.

de 18 og de 31 eller de 33 % bliver af, idet der ikke indgår massebalancer i modellen. Hvis forskellen ophobes i jorden, vil puljen – om end med forsinkelse – i sidste ende alligevel blive tabt til omgivelserne.

Vi finder ikke belæg for at anvende NLES4-modellens lave marginaludvaskning i N-regnskabet og bruger derfor nedenfor de 31 %, som er den generelt beregnede udvaskning fra rodzonen.

Frivillige ordninger og målrettet regulering

I Landbrugspakken skal de øgede udledninger modvirkes af frivillige ordninger og regulering målrettet efter, hvor følsomme de forskellige kystområder er. De frivillige indsatser har historisk set haft ringe gennemslagskraft, og derudover må man forudse betydelige vanskeligheder med at implementere en målrettet regulering, der behandler landbrugere forskelligt, alt efter hvor de har deres virksomhed. Den målrettede regulering er desuden ikke lagt fast og dermed ikke kendt.

Det er derfor stærkt tvivlsomt, om de fremtidige virkemidler når at blive implementeret og bliver virksomme inden 2021.

Hvordan kan N-regnskabet se ud i perioden 2016-2021?

Det samlede N-regnskab (udvaskning fra de dyrkede og ikke-dyrkede arealer samt bidrag fra spildevand) kan opgøres for perioden 2016 til 2021 i scenarier med forskellige antagelser.

Hvis man ser bort fra baseline-effekten og anvender en marginaludvaskning på 31 %, ser regnskabet inklusive indsatser langt værre ud end regeringens opgørelse. Dermed bliver Landbrugsbakken snarere end at være "god for miljøet" med langt større sandsynlighed et stærkt risikabelt kvælstofeksperiment på fuld skala. I givet fald vil vi se forringede miljøforhold i kystvandene, ud over de negative effekter på naturen på land og i de ferske vande, som slet ikke er inkluderet i konsekvensberegningerne. Endelige er der en risiko for direktivbrud og dermed et EU, der

i værste fald som straf vil fratage Danmark betydelige tilskud til landbruget.

Når vi Vandrammedirektivets målsætning?

Det korte, men éntydige svar er nej! For at nå Vandrammedirektivets målsætning om god økologisk tilstand i fjorde og kystnære områder, forudsættes det, at N-udledningerne til havet som nævnt skal reduceres til 42.000 tons N pr. år. Uafhængigt af hvilken af ovennævnte modeller, der bliver en realitet, vil udledningerne under ingen omstændigheder nå ned på det niveau i 2021. Det vil derfor kræve en forstærket indsats med nye og meget effektive virkemidler at nå måltallet i 2027, som er sidste deadline ifølge Vandrammedirektivet. Da god økologisk tilstand ydermere tager fra flere til mange år at blive nået, efter at næringsstofniveauerne er nedbragt, er konsekvensen, at Danmark heller ikke vil opfylde Vandrammedirektivets forpligtelser for de kystnære havområder i 2027. ■

Videre læsning

NN, 2015. *Aftale om Fødevarer og Landbrugspakke*. 26 pp.

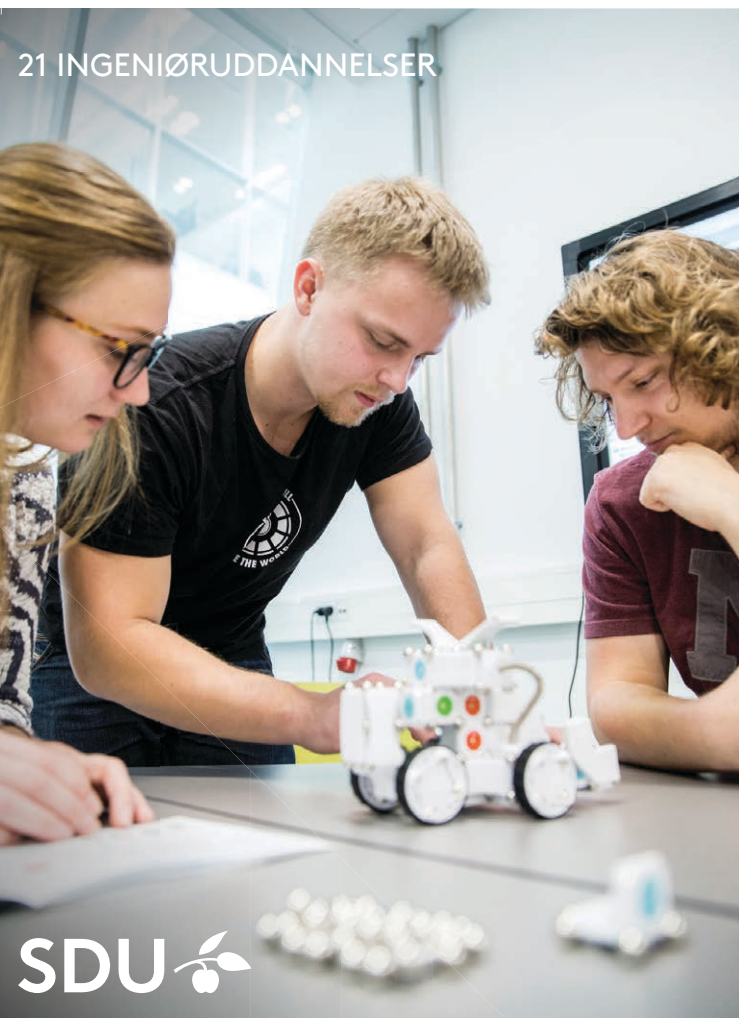
Børgesen CD, Thomsen IK, Hansen EM, Kristensen IT, Blicher-Mathiesen G, Rolighed J, Jensen PN, Olesen JE og Eriksen J, 2015. *Notat om tilbagevinding af tre generelle krav, Normreduktion, Obligatoriske efterafgrøder og Forbud mod jordbearbejdning i efteråret*. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug samt DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 51 pp.

Jensen PN, Blicher-Mathiesen G, Rolighed J, Børgesen CD, Olesen JE, Thomsen IK, Kristensen T, Sørensen P, Vinther FP, 2016. *Revurdering af baseline*. Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 67. 59 pp.

Kristensen K, Waagepetersen J, Børgesen CD, Vinther FP, Grant R, Blicher-Mathiesen G, 2008. *Reestimation and further development in the model N-LES – N-LES3 to N-LES4*. DJF Plant Science 139. 25 pp.

Markager S (2015) *Naturen sætter en grænse – status for diskussionen om landbrug, kvælstof og havmiljø*. Aktuell Naturvidenskab 2015, 6: 34-39.

21 INGENIØRUDDANNELSER



Boost undervisningen med oplæg og workshop

Book en ingeniørstuderende og få nye vinkler på naturvidenskab, innovation og IT. Oplæggene inspirerer med konkrete projekteksempler fra de studerendes studier. Prøv fx:

- **Leg, læring og gamedesign**
Vi perspektiverer emner som design, psykologi, innovation, it og teknologi med oplæg om udvikling af computerspil, brugerinvolvering og nudging.
- **Innovation, forretningsudvikling og idégenerering**
I får et indblik i et virksomhedsprojekt, hvor vi fortæller om produktudviklingsprocessen fra idégenerering af ny teknologi til lancering af produktet på det globale marked.
- **Kemi og bioteknologi**
Vi viser, hvordan vi i projekter anvender viden om kemi, enzymer og bioteknologi til fx at brygge øl på rå byg eller undersøge kinesisk malurts medicinske potentiale.

Se og book alle vores foredrag og brobygningstilbud på www.sdu.dk/tek/brobygning

Kontakt os for nærmere information:
Tlf. 6550 7444 / brobygning@tek.sdu.dk

HVAD FEYNMAN GØR, ER ALTID DET RIGTIGE

En effekt af relativitetsteorien er, at Jordens centrum er et par år yngre end overfladen. En berømt fysikers lille regnefejl om dette spørgsmål er anledningen til denne historie om den fascinerende effekt, og om hvordan videnskabsfolk arbejder.



Ulrik Uggerhøj er professor i fysik med særlig interesse for relativistiske eksperimenter. Institut for Fysik og Astronomi Aarhus Universitet ulrik@phys.au.dk



Jan Faye er lektor i filosofi og har i mange år arbejdet med videnskabernes erkendelsesteori. Institut for Medier, Erkendelse og Formidling Københavns Universitet faye@hum.ku.dk



Rune E. Mikkelsen er fysiker og driver selvstændig virksomhed. rune@phys.au.dk

I første udgave af den populære lærvidenskabelige bog *Tid* i serien *Tænkepauser* hævder en af denne artikels forfattere (Ulrik), at Jordens centrum er et par dage yngre end overfladen. Oplysningen blev videregivet i god tro, da den angiveligt stammer fra en af fysikkens helt store stjerner Richard Feynman (1918-1988).

Men oplysningen er ikke korrekt – det rigtige svar er, at Jordens centrum er et par år yngre end overfladen. Det opdagede Ulrik, da han begyndte at skrive en ny lærebog i relativitetsteori, for første gang på dansk, hvor han naturligvis måtte gå alle udregninger igennem selv.

Feynmans fejl er ikke i sig selv bemærkelsesværdig, men det viser sig, at adskillige andre fysikere – udover Ulrik – ukritisk har taget Feynmans ord for gode varer. Det er en fremgangsmåde, der ikke er ualmindelig, og historien fortæller således noget om, hvordan viden-

skabens fremskridt (også) kan foregå.

Det vender vi tilbage til. Først vil vi forklare, hvorfor Jordens centrum er yngre end overfladen. I virkeligheden er der tale om et illustrerende og temmelig hypotetisk eksempel, som handler om, at massive legemer i princippet har en kerne, der er yngre end overfladen (og i samme åndedrag at din hud er en lillebitte smule ældre end din mave). Alt sammen er det en effekt af relativitetsteorien.

Tyngdekraft, acceleration og tidens gang

Et af den specielle relativitetsteoris mest benyttede resultater er, at "et ur i bevægelse går langsomt". I den meget korte udgave skyldes dette fænomen, at jo mere et objekt bringes til at bevæge sig gennem rummet (altså rummet i den abstrakte forstand: længde, højde, bredde), jo mindre kan det "bevæge sig" gennem tiden. Forklaringen bunder i det eksperimentelt meget veletab-

lerede faktum, at lysets hastighed i vakuum altid er den samme, 299 792,458 m/s, som altså er en form for "vekselkurs" mellem rum, målt i meter, og tid, målt i sekunder.

Et andet element i relativitetsteorien – i dette tilfælde den generelle – er det såkaldte ækvivalensprincip, som siger, at et accelereret system lokalt ikke kan skelnes fra et tyngdefelt, medmindre man kan "kigge udenfor". Hvis du fx stiller dig på en badevægt i en elevator og trykker på knappen, der bringer dig op til næste etage, vil du, mens elevatorstolen accelererer, se på vægten, at du vejer lidt mere. Under opbremsningen, lige inden du når etagen ovenover, forholder det sig omvendt: Da vil din vægt være en smule mindre end ellers. Hvis du ikke ved, hvad din varierende vægt skyldes – nemlig at elevatoren accelererer – kunne du tro, at det var, fordi Jordklodens masse kortvarigt blev større, hvorved dens tyngdekraft trak mere i dig, for derefter at aftage igen. På den



GPS-satellitter er en slags "anvendt relativitetsteori". Hvis man ikke tager hensyn til, at et ur i bevægelse går langsomt og at et ur længere ude i tyngdefeltet går hurtigt, vil GPS-systemet ophobe en fejl på ca. 8 m i minuttet. Illustration: US Government

måde er tyngdekraft og acceleration uskelnelige.

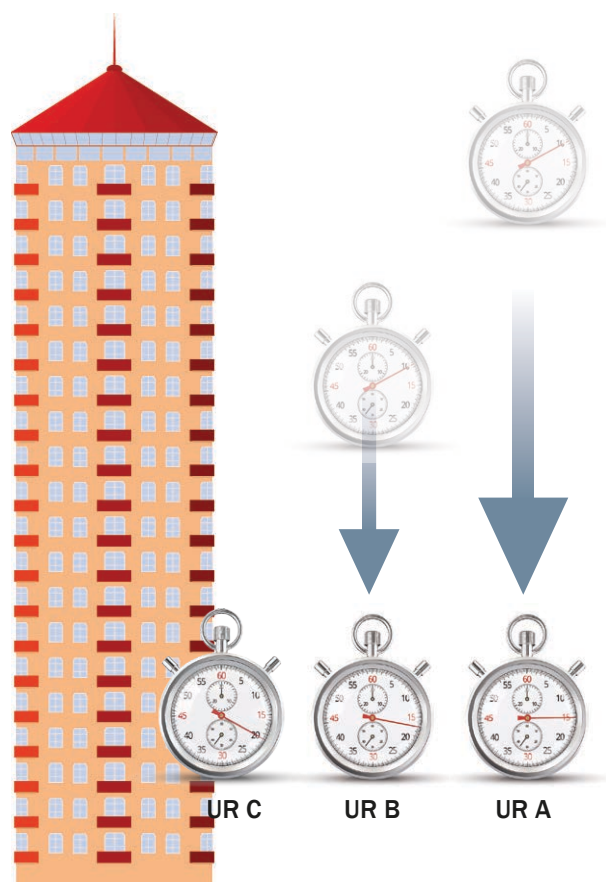
Et ur i jordens centrum

Vi benytter nu den første observation, at et ur i bevægelse går langsomt, til at vise at et ur længere inde i tyngdefeltet går langsomt sammenlignet med ét længere ude:

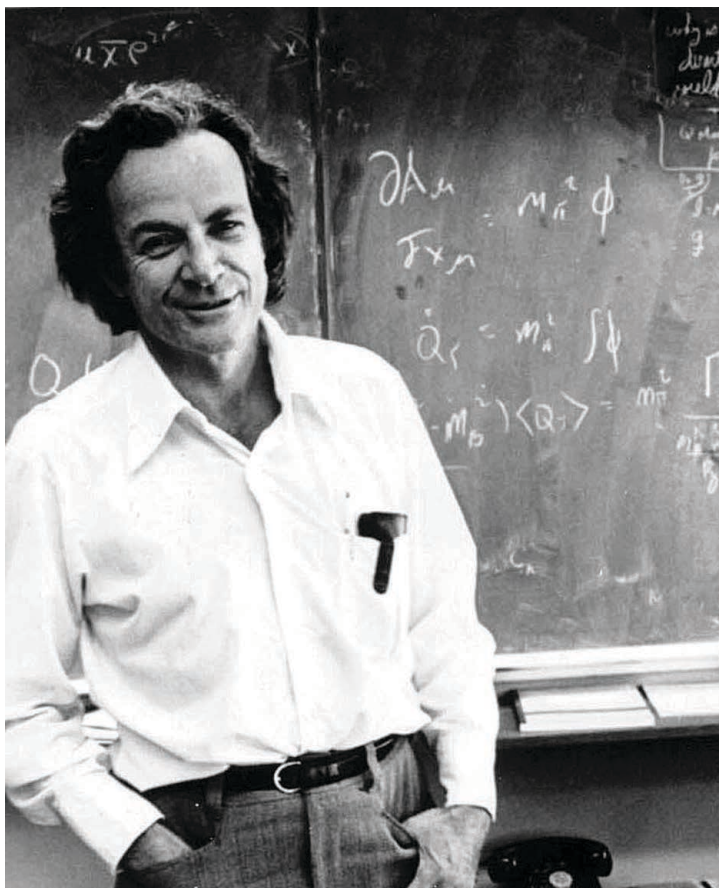
Lader man to ure A og B falde ned mod Jorden fra forskellig højde, vil de, idet de passerer et tredje ur C, have forskellige hastigheder. Uret A, der kom højt oppefra, vil passere det tredje ur C med højere fart end uret B, der begyndte sit fald længere nede end A. Da et ur i bevægelse går langsomt – og jo hurtigere bevægelse, jo langsommere gang – vil uret A altså gå langsommere end B. Så for det ur, hvor tyngdekraften kan have virket på det i et fald over et længere stykke, går tiden altså langsommere. Benytter man ækvivalensprincippet, kan man konkludere, at det også må gælde, at et ur i bunden af en accelererende raket går langsommere end et i toppen.

Med dette in mente kan vi igen vende interessen mod Jorden, for samme effekt gør sig gældende for Jordkloden: Et ur i centrum, det kunne fx måles ved en bestemt type radioaktive henfald, går langsommere end et ur ved overfladen. Men, vil læseren måske indvende, i centrum af Jorden er tyngdekraften da nul, simpelt hen på grund af symmetrien. Hvor skulle tyngdekraften ellers pege hen? Så fænomenet kan ikke afhænge af tyngdekraften alene. Det er derimod en "opsummeret" effekt, nemlig tyngdefeltets potential (matematisk set et integral over tyngdekraften prikket med vejen),

Nu er der jo ikke atomer i centrum af Jorden, der er faldet derind (alene af den grund, at hvis de faldt derned, gennem et rør fx, ville de efter ca. 3 kvarter dukke op på den anden side af Jorden). Men alligevel går tiden langsommere for objekter, hvor tyngdekraftens opsummerede effekt, set i forhold til uendelig langt



I forhold til et stationært ur (C) går tiden langsommere for et ur, hvor tyngdekraften kan have virket på det over et længere fald.



Fysikeren Richard Feynman (1918-1988) regnes som en af de største – hvis ikke den største – amerikanske fysikere. Foto: Wikimedia Commons cc-by-3.0.

væk, er større på grund af det længere stykke, den kan virke over.

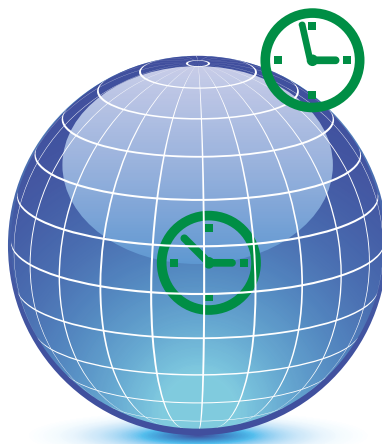
Upassende kritik...

Som nævnt er fysikeren Richard Feynman citeret for oprindeligt at have postuleret, at Jordens centrum er et par dage yngre end overfladen.

Men hvad gør en sådan fejl specielt interessant? Det er interessant, fordi det for en fysiker er relativt let at tjekke, om påstanden er korrekt. Adskillige fysikere – herunder nogle berømte af slagsen – har siden citeret Feynman for netop denne fejlagtige påstand. Altså uden selv at tjekke den.

Da vi selv havde regnet på sagen, skrev vi derfor en videnskabelig artikel, der korrigerede fejlen, og indsendte den i første omgang til et amerikansk tidsskrift. Men i den såkaldte peer-review-proces, hvor artiklen bliver bedømt af fagfæller, blev artiklen udsat for

heftig kritik. Bl.a. blev det fremhævet, at den konfrontatoriske tone var yderst upassende, at det ikke var på sin plads på denne måde at kritisere Feynman (som regnes for en af de allerstørste, hvis ikke den største, af de amerikanske fysikere), og at manuskriptet var "aldeles upassende i den videnskabelige



Et ur på overfladen går hurtigere end et i centrum af Jorden.

litteratur", om end øjensynligt fejlfri. Så vi endte med at sende til et europæisk tidsskrift, som var noget mere omgængeligt. Og efter udgivelsen blev vi kontaktet af adskillige journalister fra England, Tyskland, USA, Spanien og Danmark, der fandt effekten både illustrativ og underholdende.

Når berømt heder laver regnefejl

Det er ikke første gang i videnskabshistorien, at fremtrædende og berømte fysikere har begået en "regnefejl", som ukritisk er blevet gentaget af andre fysikere. Et interessant eksempel, set med danske øjne, omtales af den højt respekterede fysiker Christian Møller (1904-1980), professor i fysik ved Københavns Universitet, der i mange år selv var offer for en lignende fejltagelse. Han skrev en meget benyttet lærebog i relativitetsteori *The Theory of Relativity*, som udkom første gang i 1952 og blev genoptrykt adskillige gange årene efter.

I 1972 udkom bogen i en ny udgave, og heri gjorde han i en note opmærksom på, at en ligning i 1952-udgaven var forkert. Den forkerte ligning var fremkommet i årene efter formuleringen af relativitetsteorien, hvor både Albert Einstein og Max Planck prøvede at anvende den på termodynamiske problemer. Begge nåede frem til en fejlagtig ligning angående varmeopbygningen i et elektrisk system set ud fra forskellige iagttagere, fordi de begge byggede på den samme fejlagtige antagelse. Derved blev der byttet om på tæller og nævner i deres formulering. Deres udregning blev alment accepteret, indtil to fysikere, Heinrich Ott og H. Arzelies uafhængigt af hinanden så sent som i 1960'erne opdagede fejlen. Og som Christian Møller bemærkede, så havde han også blot gentaget fejlen i førsteudgaven af *The Theory of Relativity*.

En påstands rigtighed

Sammen med Feynmans "fejl" viser disse eksempler os noget om menneskets psykologi og kognitive

Tidsmaskiner og GPS

Som det fremgår i artiklen, har tyngdefeltets styrke indflydelse på, hvor hurtigt fysiske processer forløber og dermed på, hvor hurtigt tiden går – og derfor er Jordens centrum yngre end dens overflade.

En lidt spøjs sideeffekt til det fænomen er, at en hul, men (meget) tung kugle i princippet kan fungere som en fremadgående tidsmaskine: Opholder man sig inde i kuglen ældes man langsommere end udenfor, og man vil derfor fx kunne bruge 10 leveår på at komme 20 år ind i "den ydre verdens" fremtid. Det forholder sig på præcist samme måde, hvis man bevæger sig med høj hastighed – hvilket er udtrykt i det såkaldte tvillingeparadoks, hvor en tvilling, der sendes med en raket ud i rummet og tilbage igen, vil være yngre end den tvilling, der blev efterladt på Jorden.

Det samme fænomen betyder, at tidens gang på overfladen af Jordkloden er sløvet med ca. 695 picosekunder pr. sekund i forhold til uendelig langt væk. Så vi le-

ver faktisk knap 2 sekunder længere på Jorden, end vi ville gøre langt ude i rummet i løbet af et liv på 80 år.

Selvom disse effekter kan virke eksotiske og hypotetiske, finder de også en helt konkret anvendelse. Tiden ombord på GPS-satellitterne i en højde af omkring 20.000 km over Jordens overflade går således lidt hurtigere, set fra Jorden. Det betyder, at hvis man glemmer denne effekt, ophober GPS-systemet en fejl på omkring 10 m i minuttet (og tager man satellitternes hastighed med, er fejlen "kun" 8 m i minuttet). Så selvom der er tale om en illustration, er effekten som sådan af direkte teknologisk relevans. Og i den ekstreme grænse, hvor man taler om objekter med et meget kraftigt tyngdefelt, sløves tidens gang betydeligt på overfladen, set udefra. Således står tiden stille på "overfladen" af et sort hul, hvorfor de tidligere hed "frosne stjerner", tiden går simpelthen ikke på deres overflade, set udefra.

arbejdsdeling. Vi forholder os mere ukritiske til personer, som vi tiltror stor viden og personlig integritet. Allerede Aristoteles bestemmer dette fænomen i sin Retorik. Et arguments holdbarhed vurderes bl.a. ud fra den etos, som en person har – dvs. andre har en tilbøjelighed til at vurdere rigtigheden af personens synspunkter ud fra, hvordan vi opfatter ham eller hende, der fremfører dem, og ud fra hvilken faglig autoritet vi tilskriver personen. Så om begge eksempler kan vi sige, at troværdigheden af den fremførte påstand kom fra personernes etos, før nogle satte sig ned og tænkte efter. Det kan vi kalde for appellen til en persons etos.

Der er selvfølgelig ikke tale om et matematisk bevis, men om at vi alle ofte accepterer et arguments rigtighed ud fra vor tiltro til den person, som fremfører det. Det er et vigtigt træk ved menneskets kognitive arbejdsdeling, hvor vi

anerkender andres ekspertise, fordi ingen af os magter at sætte os ind i alting. Videnskaberne er også afhængig af en sådan arbejdsdeling, bestemt af hvilke områder forskeren tidligere har ydet sit bidrag til. Det er derfor heller ikke en god videnskabelig praksis hele tiden at skulle efterprøve og kontrollere andres resultater. I stedet søger man at bygge oven på andres "opdagelser", indtil man eventuelt finder ud af, at der er nok begået en "fejl" et eller andet sted.

En sådan appel til en forskers etos kan naturligvis også misbruges af forskeren selv. I uheldigste tilfælde udnytter forskeren med høj etos sin faglige autoritet til at undertrykke og intimidere forskere og forskningsresultater, som går imod den pågældende forskers egen opfattelse. Det findes der mange eksempler på i videnskabshistorien. Et klassisk eksempel er den

stærke opposition til Alfred Wegeners kontinentaldrift-hypotese fra autoriteter som Harold Jeffreys, der var Cambridge-professor i geofysik. En opposition, der fremkom til trods for, at en anden geofysiker, Arthur Holmes, allerede i 1931 havde udpeget den radioaktive mekanisme, som forårsager kontinentaldriften. Fænomenet blev først alment accepteret blandt geofysikere i slutningen af 1950'erne og i løbet af 1960'erne.

Et kig ind i forskerverdenen

Feynmans lille regnefejl ender altså med at blive interessant, fordi eksemplet fortæller os noget om de psykologiske og kulturelle omstændigheder, hvorunder forskerne arbejder. Forskerne er afhængige af hinandens resultater, og det gør, at de er tilbøjelige til at acceptere videnskabelige berømteders fejltagelser, også selv om fejlen burde være ganske åbenlys. ■

Videre læsning

U.I. Uggerhøj, R.E. Mikkelsen and J. Faye: The young centre of the Earth, Eur.J.Phys. vol. 37, 035602 (2016)
Artiklen kan frit tilgås på: <http://arxiv.org/abs/1604.05507>

Ulrik Uggerhøj: Tid. Tænkepauser fra Aarhus Universitetsforlag, 2014

Ulrik Uggerhøj: Relativitetsteorien. Aktuell Naturvidenskab nr. 3/2006

Ulrik Uggerhøj: Den relativistiske tommestok. Aktuell Naturvidenskab nr. 2/2004

DEN EKSPERI- MENTELLE BIOLOGIS FADER

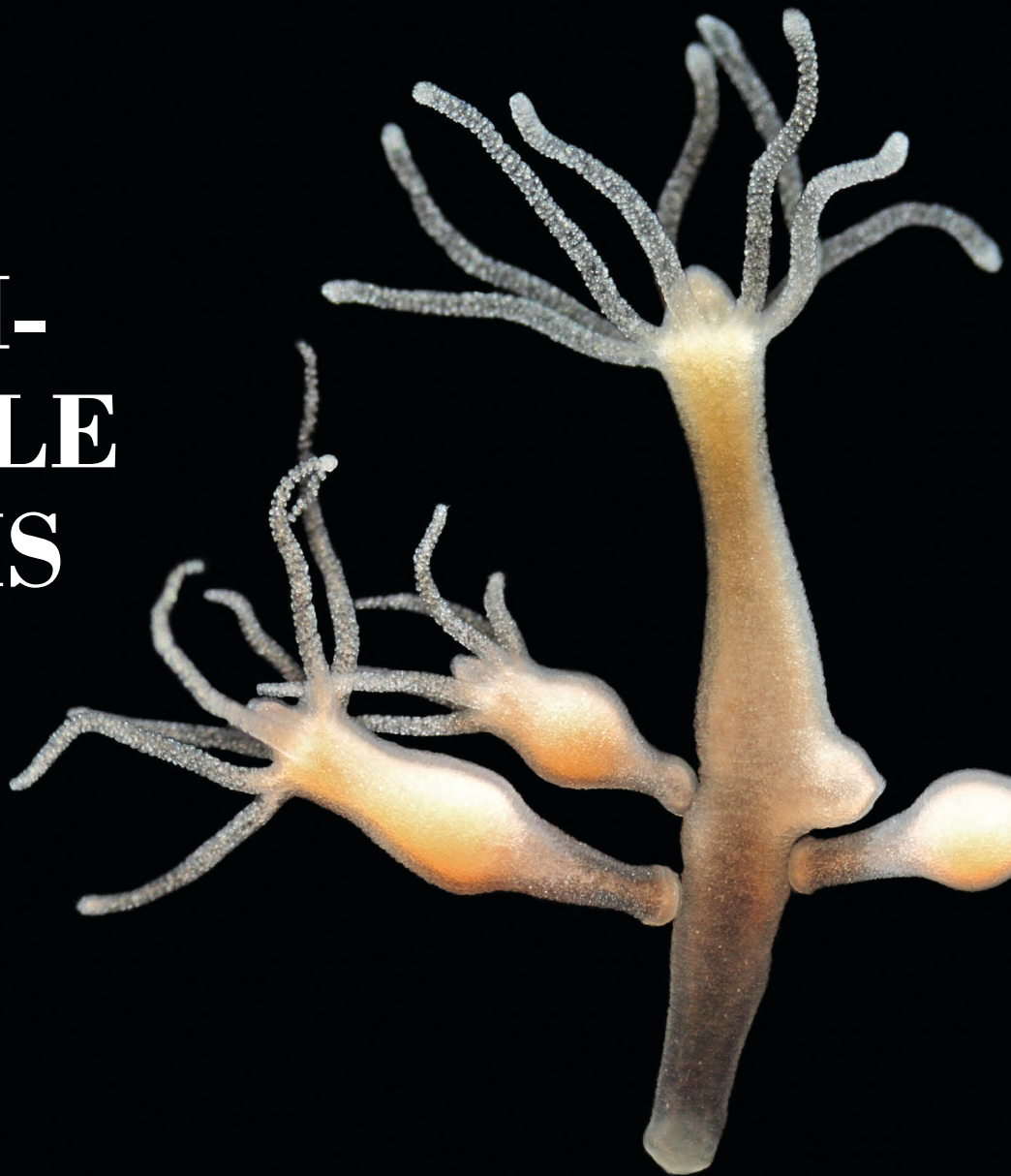
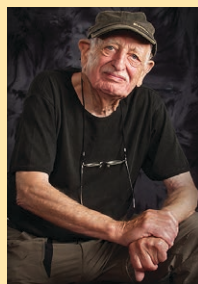


Foto: Shutterstock

Schweizeren Abraham Trembley var med sine banebrydende eksperimenter med ferskvandspolyppen Hydra i 1740'erne med til at grundlægge biologien som eksperimentel disciplin.

Forfatter



Bent Lauge Madsen er mag. scient.(1968) i ferskvandsbiologi. Han arbejder med vandløb og deres smådyrs tilpasning til bl.a. strømmen. bent@laugemadsen.dk

Hvad bananfluen har været for arvelighedsforskerne, har ferskvandspolyppen Hydra været for de zoologer, som ville forstå, hvordan levende væsener udvikles og fungerer: »Opstod et zoologisk problem, der skulle prøves, atter og atter lød spørgsmålet: Hvad siger Hydra,« skrev den danske ferskvandsbiolog, Carl Wesenberg Lund i sin bog, *Fra Sø og Å* fra 1922.

At Hydra er blevet et af de ferske vandes mest berømte smådyr, kan vi takke den schweiziske matemati-



ker Abraham Trembley (1710 -1784) for. Hans grundige og spændende undersøgelser er med Wesenberg-Lunds ord, »... nedlagt i et af

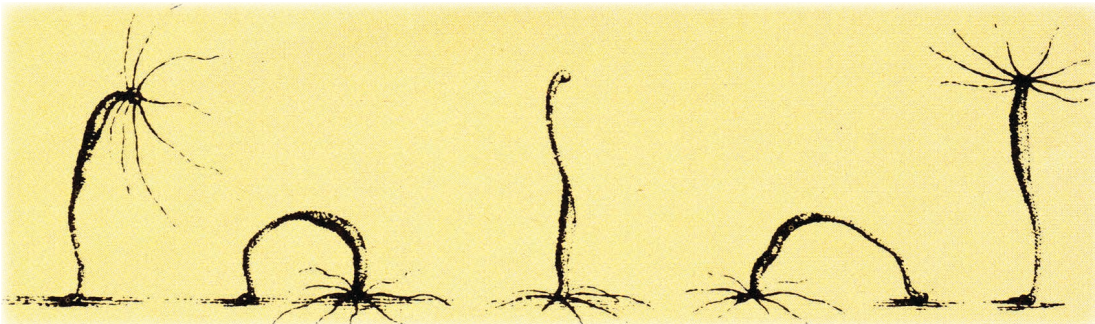
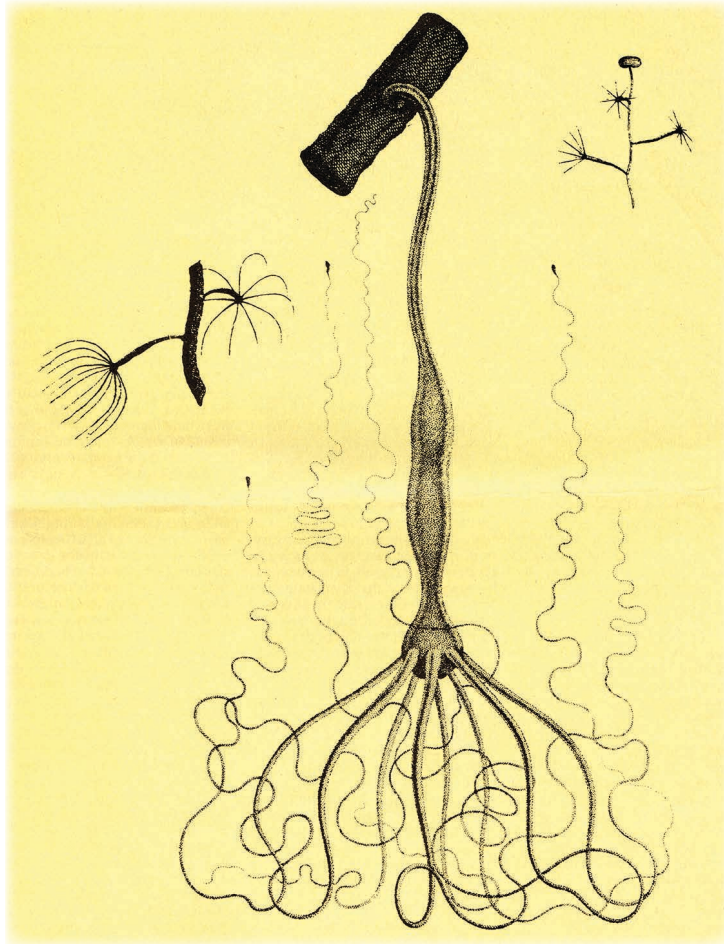
disse gammeldags værker, som bærer oppe og gennemføres på basis af følelser og tanker, som vor tid knap nok ved fuldtud at vurdere, og som vor tid derfor heller ikke kan frembringe.« Værket kom i en fransk udgave 1744 med den oversatte titel: "Beretninger om naturhistorien hos en slags ferskvandspolypper med arme der ligner horn." Trembley havde dog løbende delt sine resultater med den franske videnskabsmand Reaumur (1683-1757), som sørgede for, at de kom ud i bredere kredse. Det forlyder, at Hydra, næst efter den nye elektrici-



Trembley demonstrerer for sine to elever, hvordan man kan vende vrangen ud på en hydra.

Trembleys "tredje art af dyret, som har arme der ligner horn". Efter Linnaeus skabte sin binomiale navnesystem blev arten (1766) døbt *Hydra oligactis*, på dansk "den stilkede Hydra". Alle Trembleys tegninger er lavet Pieter Lyonet (1707-1789), en dengang kendt, hollandsk tegner og gravør.

Hydra kan flytte sig på kolbøttevis.



tet, var det mest diskuterende emne i de franske saloner på den tid.

Trembley var huslærer for den hollandske greve William Bentincks to drenge fra 1740-1744. På grevens sommerresidens uden for Haag var der havedamme med et væld af småvæsener. Trembley koncentrerede sig næsten udelukkende om at studere hydraer. Overalt i skolestuen var de i skåle og glas. Meget opdagede Trembley ved at kigge gennem en lup, men de fine detaljer så han gennem et "simpelt mikroskop", som dog ikke var så simpelt endda.

Plante eller dyr?

Hydra sidder fast på underlaget som en plante, og i hvert fald en af dem (*H. viridis*) er grøn. Det tyder på, at de er planter. At de bevægede "hornene", som armene blev kaldt dengang, rokkede ikke ved den mening, for det kunne jo skyldes, at vandet bevægede sig. Når Trembley svingede glasset rundt, svajede de som træer i vinden. Men så opdagede han, at de ofte trak "hornene" ind i kroppen, så de forsvandt. Og når vandet blev roligt igen, kom de atter frem. Sådan gør planter ikke. Han kom tættere på

svaret, da han så, at hele organismen kunne flytte sig i en slags kolbøtter. De havde altså ikke rødder som planter.

Han så også, at de fangede små dyr, som endte i hydraens indre. Det gør planter, ud over soldug, normalt ikke. En af hans tegninger viser en meget trind og tyk hydra proppet fuld af dafnier. De er altså meget fleksible, hvilket gjorde hans senere forsøg mulige.

Meget tydede således på, at hydra er et dyr, men det var endnu ikke

nok for Trembley: Hvis han kunne klippe en hydra midt over, og den kunne leve videre, så var den måske alligevel en plante? Som sagt så gjort, og om det forsøg skrev Wessenberg-Lund: »Det var på en måde en af zoologiens mærkedage, da Trembley 25. november 1740 delte en Hydra to dele: Ca 14 dage senere havde han to hydraer for én.« Det ændrede dog ikke hans opfattelse af, at Hydra var et dyr. Men det ændrede hans og andres opfattelse af, hvad et dyr som Hydra kan – og kan bruges til!

Et mangehovedet uhyre

I andre forsøg opdagede Trembley, at Hydra kunne opfatte lys, uanset at han ikke kunne se øjne på dem. Han lukkede et glas, hvor hydraer var jævnt fordelt, inde i en lille papkasse, hvor der i den ene side var klippet et lille vindue. Snart var alle individer flyttet hen i lyset fra vinduet. Og når han drejede papkassen, flyttede de sig efter lyset. Eftertiden har vist,



Navnet *hydra* kommer fra den græske mytologi, hvor Hydra var et kvindeligt, mangehovedet søuhyre, som blev dræbt af helten Herkules. Maleri af Gustave Moreau 1861 med titlen Herkules og hydraen fra Lerna.

at vel har Hydra ikke øjne, men de indeholder molekylet opsin, der er det lysfølsomme stof i øjne.

Når han flækkede hovedenden på en hydra voksede de to halvdele ud til hvert sit hoved. Ved at gøre det

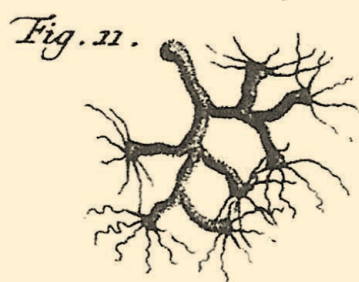
flere gange, fik han frembragt et "mangehovedet uhyre", en "Hydra". Det navn brugte den svenske læge og naturforsker Carl Linnaeus senere som slægtsnavnet for friskvandspolypperne.

Trembley lavede også verdens første kendte transplantation: Med fingersnilde fik han proppet en hydra ned i en anden. De voksede sammen og fungerede som én organisme. I starten måtte han dog binde dem sammen med et andet af hans remedier: En svinebørste.

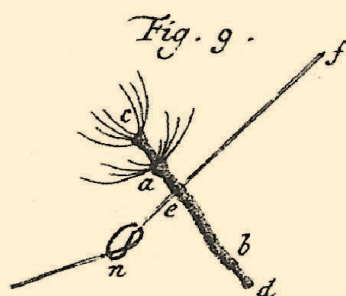
Sokken vendes

Det forsøg, man først og fremmest forbinder med Trembley, er det, hvor han byttede om på de to lag celler (den ydre "ektoderm" og den indre "endoderm"), som Hydra består af.

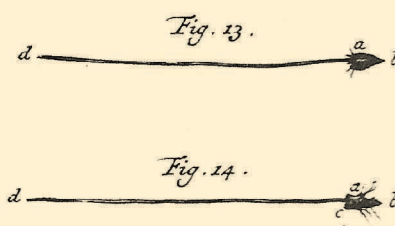
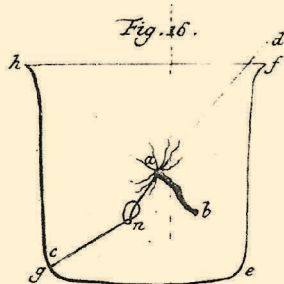
Han havde med farvet føde, fx røde mider og sorte igler, fulgt hvordan føden vandrer i hydraen. Han gjorde meget ud af at forklare, at det ikke



Trembleys manipulerede "mangehovedede uhyre", som han døbte Hydra.



En af Trembleys mange vellykkede transplantationer. En Hydra (c-d) er trukket igennem en anden Hydra (a-b): De er holdt midlertidigt fast af svinebørsten n-f.



Trembleys berømteste forsøg: "Fig 13": En svinebørste (a) stikkes ind i en Hydra. "Fig. 14": Hydra indersiden krænges med blide fingerstrøg forsigtigt ud over ydersiden. "Fig. 16": En svinebørste (c-d) er stukket igennem Hydra, så den ikke kan krænge sig tilbage igen.

kun var maveindholdet, som skinnede igennem *“ligesom indholdet i en flaske”*. Han havde set farverne inde i cellerne, hvor de var synlige i op til 15 dage. Han så aldrig hydraen optage føde fra ydersiden, og det til trods for, at de to sider lignede hinanden. For andre end Trembley ville resten være spekulation, men han spurgte hydraen: *“Hvis nu vi vender din inderside ud, som man vender vrangen ud af en sok, så må det vel vise sig, om din oprindelige yderside også kan optage føde?”*

Som sagt så gjort. Bevæbnnet med en svinebørste prøvede han at skubbe hydraens fod meget langsomt ind i maven, indtil den kom ud gennem munden. Forståeligt nok var hydraen ikke særlig samarbejdsvillig og lukkede munden under den behandling. Men det løste Trembley ved at fodre den med en stor, fed rød dansemyggelarve. Inden den var fordøjet, lagde Trembley hydraen, omgivet af lidt vand, i sin hule venstre hånd: Her blev den masseret med blide penselstrøg, så myggelarven blev

skubbet tilbage mod munden, indtil den stak et stykke uden for. Så var munden åben. Nu lagde Trembley hydraen op på håndryggen og skubbede med svinebørsten foden op gennem maven og videre ud, indtil hydraen var “omvendt”. For at få svinebørsten ud igen, lagde han hydraen i vand, og så blev den, igen med blide penselstrøg, skubbet fri af børsten.

Cellerne flytter

Forsøget lykkedes ikke helt de første gange. Et problem var, at dyrene, ikke overraskende, døde, eller at de kunne finde på at krænge sig tilbage igen. Derfor låste han dem fast med en tynd svinebørste. Nogle af dem begyndte at spise normalt i løbet af få dage. Trembleys konklusion var, at ydersiden, ektodermen, også kunne optage føde, når den blev “mave”. Denne konklusion holdt dog ikke: Den oprindelige ydersides celler (ektodermen) er meget forskellig fra indersidens (endodermen). Det så den tyske forsker Moritz Nussbaum (1850-1915) 150 år senere, da man havde fået meget bedre mikroskoper. Han

gentog Trembleys eksperiment og observerede, at ektoderm-cellerne en for en vandrede tilbage til ydersiden og endoderm-cellerne til indersiden.

Det ville nok ikke have kommet helt bag på Trembley. Han havde set, at den nye yderside snart kom til at ligne den gamle. Han havde studeret begge sider omhyggelig i mikroskopet, og i begge fandt han små korn, “granula”. De var ikke ens på de to sider, men han antog, at de begge havde noget med fødens optagelse og transport at gøre. Senere, da man fik bedre mikroskoper, så man, at kornene på ydersiden var nældeceller, en af naturens mest utrolige konstruktioner.

Hvor blev sjælen af?

Trembleys eksperimenter begejstrede mange, men foruroligede flere. Religiøse og vitalistiske kredse diskuterede indædt, hvad der mon blev af sjælen, når man skar et levende dyr midt over, og der kom to levende dyr ud af det. Blev sjælen også skåret over, eller blev den kun overført til det ene individ?

Trembleys mikroskop

Det, som de fleste forbinder med et mikroskop, er det “sammensatte” mikroskop: Et objektiv nær ved det, som skal studeres, og et okular ved øjet. De første sammensatte mikroskoper stammer fra starten af 1600-tallet, og de blev forbedret mekanisk og æstetisk gennem de følgende århundreder. Men optikken stod i stampe. Det, man så, var uskarpt og sløret, omgivet af farvede rande. Problemet med de farvede rande havde man også i astronomernes første kikkerter. Men 1730 kom kikkerterne et skridt fremad med objektiver af to slags glas med forskellig brydning. De farvede rande forsvandt næsten, deraf navnet: Akromatisk objektiv. Mikroskoperne måtte vente på den slags endnu et århundrede.

Trembley og andre, der studerede biologiens mindste skabninger, brugte et mikroskop med kun én linse, det “simple” mikroskop. Én linse giver mindre farvespredning end de to (eller flere) linser i det sammensatte mikroskop. I to århundreder var det biologernes foretrukne. Fx havde Darwin og Linnaeus det med på deres rejser, og Browne opdagede de “brownske bevægelser” gennem det simple mikroskop. Fidusen er, at linsen skal være meget lille, næsten kugleformet. Jo krummere linse, des mere forstørrelse. En af linsekunstens mestre var hollænderen Anton van Leeuwenhoek (1632–1723). En af hans fineste linser forstørrede 266 gange, med stor opløsning.



Trembleys mikroskop, omgivet af diverse ferskvandspolypper. Farverigt gengivet i 1766 af Ledermüller (1719-1769) efter den sort-hvide Lyonet-stregtegnning i Trembleys værk.

Videre læsning

Trembley's originale værk: *Memoires pour servir a l'histoire d'un genre de polypes d'eau douce, a bras en forme de cornes*. Leyden. Kan beskues på Det Kgl. Biblioteks læsesal.

Originalmanuskriptet er gengivet i: Lenhof SG and Lenhof HM 1986: *Hydra and the birth of experimental biology—1744*. Abraham Trembley's *Mémoires concerning the polyps*.

The Boxwood Press, Pacific Grove, CA
Et velskrevet, kort resume af moderne Hydra-forskning er Gierer, A. 2012: *The Hydra model- a model for what?* *International Journal for developmental biology*, 56 s. 437-445.

Endnu værre var det, at hans forsøg blev starten på enden af det ældgamle dogme, at et individs form-skabelon lå fiks og færdig (præformeret) inde i ægget eller sædcellen. Der var dem, der mente at kunne se en lille bitte mand ligge inde en spermatozo. Med Trembleys forsøg og Reaumurs store opbakning vandt "de novo"-begrebet fodfæste: Et individ starter forfra fra en samling molekyler.

Trembley viste ved sine kirurgiske indgreb hydra-cellerne meget store fleksibilitet. Konklusionen kan ikke beskrives mere rammende end med Wesenberg-Lunds ord: *»I dette materiale raader ferskvandspolyp-erne over en reservehær af celler, en uvurderlig samfundshjælp, som der aldrig er vrøvl med, som ingen mukker over, når den skal træde i funktion, og som ikke er forudbestemt til hvad.«*

Den eksperimentelle biologis fader

Siden Trembleys dage har *Hydra* været i centrum i forskningen om, hvordan individer udvikles fra grunden. Den "embryologiske induktion"



Hydra er almindelig på fx gamle grene i damme og vandløb. Foto: Klaus yde.

blev opdaget i *Hydra*. To gange om året holdes en Hydra-konference ved Starnberg-søen i Bayern, og her er Trembley ikke glemt. Forskerne vedkender sig arven fra deres fags grundlægger.

Men hans eftermæle er mere end nogle banebrydende resultater, århundreder forud for sin tid. Han definerede og demonstrerede en videnskabelig arbejdsform, formodentlig udsprunget af hans uddannelse i matematik. Hans råd er såre aktuelle for nutidens biologiske videnskaber. Han byggede ikke på

spekulation og forudfattede meninger, men på observerbare fakta.

»Naturen må forklares af naturen, ikke af vore egne meninger,« har han skrevet. Eksperimenterne var de spørgsmål, han stillede naturen. Så måtte han lytte til svaret. Han kaldes med rette den eksperimentelle biologis fader.

Trembley lavede ikke lange "bio-diversitetslister" af småkræene i havedammene. Han beskrev processer frem for strukturer. Han opfordrede til, at hans resultater blev gentaget, og be- eller afkræftet af andre. For at hjælpe dem i gang forklarede han meget detaljeret, hvordan han kom frem til sine resultater. Læserne skal kunne gennemskue, hvordan han havde nået til konklusionerne og selv bedømme, om de er holdbare. Hvis ikke resultaterne kan gentages, så må de forkastes. Han sagde også, at man ikke skal miste modet, hvis et forsøg mislykkes, men prøve igen. Det er også godt at gentage heldige eksperimenter, føjede han til. Alt, der er muligt at se, er endnu ikke opdaget og kan ofte ikke opdages ved første forsøg. ■

Få fat i det bedste fra den aktuelle videnskabsformidling

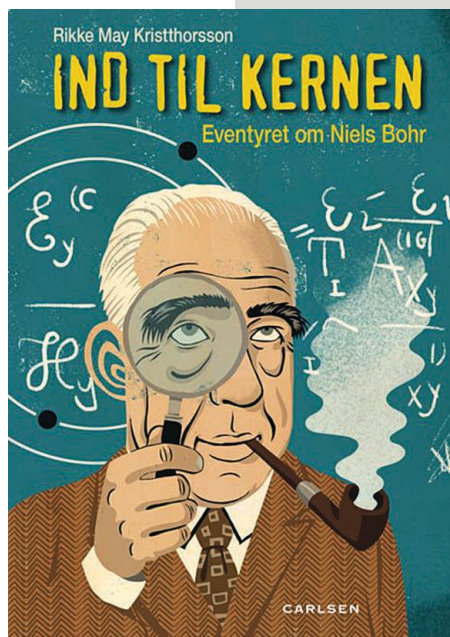
Hver anden måned samler vi nogle af de bedste artikler om forskning på Det Naturvidenskabelige Fakultet i et nyhedsbrev. Vi skriver om nye opdagelser og nye teorier - og om deres betydning for mennesker og samfund.

Meld dig til på
www.sdu.dk/natnyt

F A K T A

Rikke May Kristthorsson: *Ind til kernen. Eventyret om Niels Bohr.*

Carlsens forlag
2015. 208 sider.
249,95 kr. Bogen
er p.t. udsolgt
fra forlaget, men
findes også som
e-bog.



Sidste år udkom en bog om Niels Bohr, som skiller sig ud fra mængden. Som titlen antyder, er der tale om en bog skrevet for børn og deres forældre – i nævnte rækkefølge. Hvis man har dvælet ved det flotte tegnede portræt af Niels Bohr skabt af Rasmus Juul på omslaget, er man allerede peget i retning af målgruppen. Men har man ikke orienteret sig der før læsning, så går det lidt tid, inden det står klart. Man hjælpes så til gengæld på vej af de mange sort/hvide fotografier af folk fra Niels Bohrs personkreds og af bygninger og genstande, der refereres til, som bogen igennem står i kontrast til det tilsyneladende tunge emne. Det er også den imødekommende font og afsnittene, som illustrativt adskilles med en miniature Bohrsk atommodel. Og det er ikke mindst den rigelige forklarende biografiske historie om Bohr, som viser, at bogen fortæller historien til børn og unge.

Ambitiøst projekt

Men målgruppen gør ikke bogen hverken letkøbt eller uambitiøs. Snarere tværtimod. Bogen leverer en temmelig alsidig og vanskelig balancegang mellem personlige fortællinger om mennesket bag navnet og

de grænsebrydende teoretiske problemstillinger, han tumlede med. Det er dermed en fortælling, der sætter sig for at give et indblik i Bohrs bidrag til fysikken og naturvidenskabelig tænkning, så man forstår omfanget af hans originalitet. Ligesom den giver et indblik i hans menneskelighed gennem de præcise beskrivelser af personer og begivenheder i hans liv. Dertil kommer, at bogen uden så meget som at blinke formår at sætte spot på den altid nærværende diskussion om, i hvilket omfang videnskabsmænd står udenfor eller til ansvar for samfundet, på grund af den måde deres forskning finder anvendelse. Det er måske et meget let bytte, når historien handler om Bohr og den velkendte sammenhæng med anden verdenskrig og udviklingen af atombomben. Men bogens præmis, at blande det historiske, biografiske og teoretiske, viser sig her særligt potent. Kristthorsson får nemlig med sine strukturelle virkemidler vist, at forskere er mennesker, der om de vil eller ej støder på etiske dilemmaer i deres arbejde. Hvor ofte møder man en ungdomsbog, der så utvungent får demonstreret elementer af naturvidenskab, krig og forskningens radikale indflydelse på samfundet uden at forfalde til forfladigelse af nogle af delene?

En samtalebog

Bogens mange-facetterede tilgang har også en skyggeside og vil formentlig derfor dele sine læsere. Nogle vil opfatte de biografiske detaljer som anmassende og uvedkommende for de teoretiske udredninger. Mens andre føler sig tiltalt af netop det narrative i "eventyret". Læseren skal, selvom bogen er velskrevet, også have et vist abstraktionsniveau, og det er her, den især gør sig som samtalebog mellem forældre og børn. Der skal behændigt samtales om historie, verdenskrige, forskning, menneskelig sorg og genialitet. Og ikke mindst om naturvidenskab, der folder sig ud som det *naturligste* i verden.

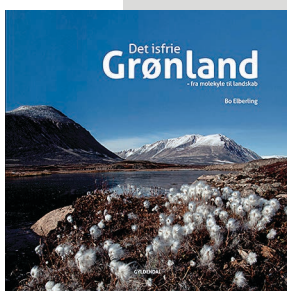
Bogen er blevet til med hjælp fra bl.a. adskillige fagkonsulenter, Niels Bohr arkivet og familie til Niels Bohr der dermed bevidner dens seriøsitet.

At bogen har ramt sit publikum illustreres til fulde af, at den allerede er udsolgt fra forlaget. Så man må en tur på biblioteket, hvis man vil nyde eventyret om Niels Bohr sammen med unge videbegærlige tilhørere; i hjemmet, i klassen, eller i ferien. Eventyret om Niels Bohr fortjener udbredelse. ■

Anmeldt af Theresa Schilhab, lektor i lektor i
kognitionsbiologi, Aarhus Universitet
tsc@edu.au.dk

FAKTA

Bo Elberling: *Det isfrie Grønland*. Gyldendal 2016. 208 sider, 329,95 kr. (vejl.)



Det isfrie Grønland – fra molekyle til landskab

Man skal ikke tage fejl af, at titlen på forsidens af smudsomslaget står på engelsk – denne bog er lige så meget dansk som den er engelsk. Alle teksterne i bogen er således sat op på siderne med en spalte med dansk tekst og en engelsk oversættelse ved siden af. Ideen bag bogen er ifølge pressemeddelelsen med ord og billeder at fortælle de mest interessante og overraskende historier, der er kommet ud af ny forskning om samspillet mellem klimaet, planterne, jordbunden og mikroorganismerne i Grønland.

Forfatteren er Bo Elberling, der er professor i miljøkemi ved Københavns Universitet og som kalder bogen en »hyldest til Grønland.« Angiveligt ligger der mere end 100 videnskabelige artikler bag fortællingerne i bogen, der krydres med et stort antal stor-låede fotos.

FAKTA

Søren Rasmussen: *Mennesket i naturen – naturen i mennesket*. Gyldendal 2016. 448 sider, 299,95 kr.



Mennesket i naturen – naturen i mennesket

Biologen, safariguide og entreprenøren Søren Rasmussen gør i sin nye bog op med forestillingen om menneskets særstatus i naturen. Han viser med en lang række eksempler, hvor afhængige vi er af biosfæren. Vi lever af naturen, midt i naturen og naturen lever i os.

Naturen er dynamisk og reagerer på enhver form for menneskelig aktivitet – om vi kalder den bæredygtig eller ej. Naturen skaber hele tiden nye variationer, forandringer og muligheder, altså levedygtige alternativer til vores aktiviteter, og den naturlige udvælgelse tager sig af resten.

Naturens processer og evolutionen skaber diversitet og liv, men sættes ind i mellem tilbage af naturkatastrofer. Måske er menneskets mest aktuelle problem, at vores aktiviteter mere og mere ligner en naturkatastrofe.

FAKTA

Se mere på:
naturvidenskabsfestival.
danishsciencefactory.dk



Dansk Naturvidenskabsfestival 2016

Mandag den 26. september skydes Naturvidenskabsfestival 2016 i gang, og den varer hele uge 39. Skoler, ungdomsuddannelser, biblioteker, museer, naturskoler og virksomheder dedikerer alt fra et par timer til en hel uge til at sætte fokus på science. Ugen kan udgøre et frirum, hvor der eksperimenteres med nye undervisningsmetoder, emner og samarbejder, som kan inspirere til resten af årets undervisning. Skoler og ungdomsuddannelser kan benytte festivalens gratis tilbud og lade sig inspirere af årets tema til at lave egne festivalaktiviteter.

Temaet for Naturvidenskabsfestival 2016 er Hjerter og Hjerne. Hvad sker der i kroppen, når man forelsker sig? Hvad er kunstig intelligens egentlig? Og kan man spise sig kloge? Temaet kan bruges som et springbræt til at lave sjov, anderledes, lærerig og inspirerende undervisning i naturvidenskab, evt. i samarbejde med andre faggrupper.

Som en del af festivalen er der igen i år et MasseEksperiment, hvor skoleklasser over hele landet kan hjælpe forskere med at indsamle data. I år skal eleverne hjælpe med at undersøge, om man ved hjælp af et mobilspil kan træne sig til at blive bedre til at lytte og skelne toner fra hinanden. De kommer også til at undersøge, om træningen påvirker deres evne til at huske. Det er gratis at deltage, så længe du husker at indtaste klassens resultater.

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 abonnementsservice på

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

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

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

Ny Quiz om den blomstrende skoveng

Du kan nu finde en quiz på vores hjemmeside, der tager udgangspunkt i artiklen Skovengen blomstrer fra nr. 2/2016. Quizzen er lavet af Anne Becher, der underviser i biologi og kemi på Vesthimmerlands Gymnasium og HF. Artiklen og quizzen kan fx bruges som en del af et forløb om grundlæggende økologi i gymnasiet.

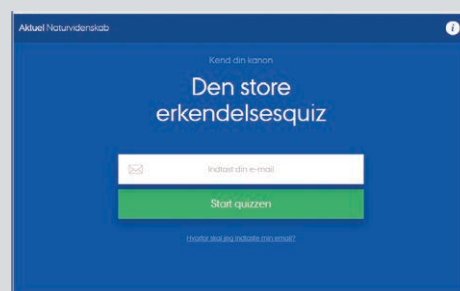
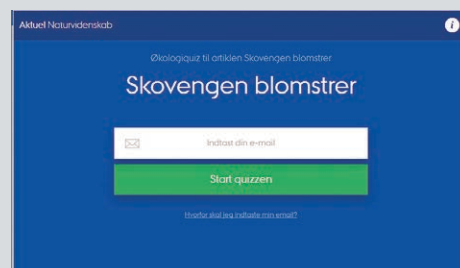
Du kan finde materialet på:
aktuelnaturvidenskab.dk

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 hjemmesiden 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:

- Bakteriens 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
- Kviksløv 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



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

Bliv dus med din SKRALDESPAND

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Du kender sikkert irritationen ved at gå forbi en skraldespand på gaden, hvor æbleskrog, engangsflasker, papirlommetørklæder og andet affald ligger og flyder i en uklædelig halvcirkel på fortovet foran. "Sikke noget svineri – er det virkelig så svært at ramme?", tænker du sikkert. Ofte er der et skilt på skraldespanden, der formaner til at holde byen ren – men det har tydeligvis ikke den store effekt. Men hvad nu hvis skraldespanden kommenterer dine handlinger – fx roser dig for at ramme rigtigt eller skælder dig ud for at smide affaldet på fortovet? Vil det få os til at stramme op? Ja, mener Marie Høg Nielsen, som er ingeniørstuderende ved Syddansk Universitet og en del af et team på seks personer, som i forbindelse med et tværfagligt projekt i undervisningen har udviklet en prototype på en sådan talende skraldespand, *TalkingBin*.

»I forbindelse med meget tidlige tests af konceptet på Campustorvet på SDU oplevede vi, at nogle personer ligefrem kom tilbage med mere skrald, efter skraldespanden havde givet dem en kommentar med på vejen«, siger hun. »Det handler om at bryde ind i folks bevidsthed og placere nogle sjove og gode minder om oplevelsen med skraldespanden, så de fremover vil tænke mere over, hvad de gør ved det skrald, de lige står med i hånden.«

Et venligt puf...

"Nudging" kaldes det fænomen på nudansk, at man forsøger at påvirke folks adfærd med et venligt puf i den rigtige retning, og det

er så at sige den filosofi, der er indbygget i TalkingBin sammen med teknologi i form af sensorer, højttalere og batterier. Derudover indeholder TalkingBin både askebæger- og tyggegummibeholder som et første skridt mod at udvikle en skraldespand med kildesortering.



Foto: Michael Katballe. Mere info: talkingbin.com

Skraldespanden kan også kommunikere med omverdenen via de indbyggede sensorer, som registrerer, når den er fyldt og sender besked til renovationsfolkene. Det giver mulighed for en mere optimal planlægning af ruter, når skraldespandene skal tømmes. Alt i alt er visionen med den talende skraldespand, at den både skal medvirke til at gøre

bymiljøet renere og spare penge på at rydde op på fortove og i vejkanter.

Ud i virkeligheden

Siden projektgruppen kunne præsentere deres prototype i november 2015, har de deltaget som finalister i Venture Cup i januar, hvor studerende fra danske universiteter konkurrerer om de bedste "start up" ideer. Og de har nu oprettet et iværksætterfirma (IVS) for at kunne arbejde videre med TalkingBin.

»Bl.a. samarbejder vi med to grupper ingeniørstuderende på Product Development & Innovation, som i forbindelse med deres semesterprojekt har valgt vores produkt som case og nu i bund og grund skal finde de bedste materialer til den bedste pris. Det håber vi vil give os nogle vigtige erfaringer, før vi sætter skraldespanden i produktion«, siger Marie.

De studerende bag TalkingBin satser nu på at rejse startkapital til at producere en håndfuld skraldespande, som kan komme ud at stå deres prøve på travle steder i byen eller til fx sommerfestivaler. »Vi har kontakt med Odense kommune, som er meget interesserede i at samarbejde og også kulturelle instanser i og uden for Odense har vist interesse for TalkingBin,« siger Marie.

»Siden vi startede vores projekt for snart et år siden, er vi kun blevet mere sikre på, at en talende skraldespand kan hjælpe til, at der kommer mere skrald i skraldespanden i stedet for på gaden,« slutter hun. ■