

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI  
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL  
*natur* VIDENSKAB

**UNIVERS MED VOKSEVÆRK**

COVID-19 tests: Hvad tester de?  
Mikroorganismer i dybe jordlag  
Stamceller og sårheling

NR. 2 - 2021 MAJ: 50 KR.



# NOTER

## Quiz

Hvad siger Big Bang teorien helt overordnet?

1. At Universet er opstået i en gigantisk kerneeksplosion
2. At Universet er bare et af potentielt uendeligt mange universer, der opstår ud fra et uendeligt lille punkt
3. At Universet har udviklet sig fra en tilstand, hvor det var ekstremt tæt og varmt til at være meget stort og koldt

Find svaret i artiklen: *Universet har vokseværk* på side 16



## Et holistisk syn på evolutionen

I en ny podcast fra *Science Stories* taler videnskabsjournalist Jens Degett med Professor Marcus Thomas Pius Gilbert fra Center For Evolutionary Hologenomics (CEH) på Københavns Universitet om, hvordan DNA og RNA sekvensanalyse gør det muligt for forskere at danne et totalt overblik over, hvilke arter af mikroorganismer og parasitter som lever sammen med mennesker, dyr og planter. En viden, som gør det muligt at se organismer i et langt mere holistisk perspektiv, der giver en langt bedre forståelse af de faktorer, som evolutionært har formet arterne.

Kilde: *Sciencestories.dk*



Foto: Motiv fra Alsek-søen i Alaska. CC BY-SA 4.0

## Opvarmning kan flytte flod

Den store Alsek-flod i Alaska, som løber fra Canada ind i Alsek-søen i Alaska og derfra ud i Stillehavet, vil sandsynligvis indenfor de kommende tiår ændre sit forløb dramatisk på grund af klimaforandringer, viser ny forskning publiceret i tidsskriftet *Geomorphology*. Det skyldes, at en gletscher nu adskiller floden og søen fra en anden sø og dennes udløb til havet. Men gletcheren er under kraftig afsmeltning på grund af opvarmning, og dette vil snart forbinde de to søer. Når det sker, vil Alsek-floden sandsynligvis forlade sit nuværende løb til fordel for den anden søs betydeligt stejlere udløb mod havet 28 kilometer mod sydøst, viser forskernes analyse af topografien i området.

Kilde: *Geomorphology*

## Kæmpe satsning på kunstig intelligens

Det bliver den mest ambitiøse satsning på forskning i kunstig intelligens nogensinde på dansk jord, når et nyt nationalt pionercenter forventes at åbne i slutningen af 2021 i et samarbejde mellem fem af landets universiteter. Med 350 millioner kroner fra Danmarks Grundforskningsfond, Novo Nordisk Fonden, Carlsbergfondet, Villum Fonden og Lundbeck Fonden skal centret bedrive verdensklasseforskning i kunstig intelligens med fokus på samfundsudfordringer, mennesker og design.

Kilde: *Danmarks Grundforskningsfond*



Foto: Pixabay

## Børn skal redde Jorden

Til efteråret lancerer Videnskabsklubben et splinternyt forløb om matematik og datalogi henvendt til folkeskoleelever. Forløbet er pakket ind i et spildesign, hvor børnene skal agere internationalt redningsteam og redde Jorden fra katastrofale hændelser som jordskælv, mudderskred og tsunamier.

Spillet er udviklet af firmaet Copenhagen Game Lab, og forskere fra Institut for Matematiske Fag på Københavns Universitet og Institut for Datalogi på Aarhus Universitet har hjulpet med at udvikle opgaverne til forløbet.

Kilde: *Videnskabsklubben*



Foto: Colourbox

## Edderkoppespind i radioen

I sidste nummer af *Aktuel Naturvidenskab* kunne du læse om Irina Lachinas forskning i at lave kunstig edderkoppesilke. Du kan nu høre hende fortælle mere om dette i programmet *Vildt naturligt* på P1, hvor hun har gæstet studiet og værterne Johan Olsen og Vicky Knudsen. Find programmet *Edderkoppesvindens tricks* på DR's hjemmeside.

# indhold



Formentlig vil tests en rum tid endnu fylde meget i kampen for at begrænse udbredelsen af coronavirus. Du får her en oversigt over, hvad de forskellige tests går ud på, hvad svaret betyder og hvilke begrænsninger de forskellige test har.

8



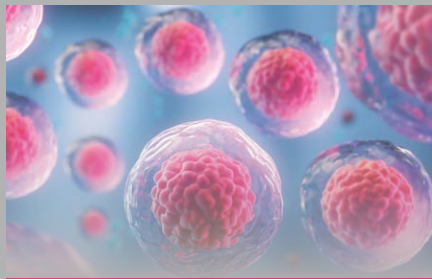
Ny forskning giver indsigt i de hidtil udforskede bakterie- og svampesamfund i jorden, der findes i 2-5 meters dybde. De kan blive vigtige spillere i en fremtid med bæredygtig planteproduktion, hvor afgrøder med dybe rødder ses som en del af løsningen.

28



Både universet og vores viden om det vokser hele tiden. Gennem astrofysiske observationer og teoretiske landvindinger har vi efterhånden fået en god forståelse af vores dynamiske univers og dets historie. Men der er stadig meget, vi ikke forstår.

16



Kroniske sår er blevet en folkesygdom, og forskerne er på jagt efter nye behandlingsmuligheder for at hjælpe de mange patienter. Stamceller fra fedtvæv har vist sig at være yderst gavnlige, når det kommer til regenerering af væv, og de virker derfor lovende i kampen mod de grimme sår.

34

## FORSKNING OG NYHEDER

- 4 KORT NYT
- 8 COVID-19 tests: Hvad tester de?
- 13 Vejen til rummet
- 16 Universet har vokseværk
- 22 Iskollaps ved istidens slutning ligner nutidens
- 28 Mikroorganismer i dybe jordlag
- 34 Stamceller og sårheling
- 39 Fatima vil forkorte vejen til korrekt diagnose
- 43 SERVICE
- 44 BAGSIDEN: Hacking i menneskeheds tjeneste

## AKTUEL NATURVIDENSKAB

### Udgiver

Aarhus Universitet, Faculty of Natural Sciences og Faculty of Technical Sciences, i samarbejde med:

- Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Det Naturvidenskabelige Fakultet og Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet og Det Tekniske Fakultet for IT og Design, Aalborg Universitet
- Roskilde Universitet

### Ansvarshavende

David Lundbek Egholm, prodekan ved Faculty of Natural Sciences, Aarhus Universitet.

### Redaktion

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

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



AALBORG UNIVERSITET



AARHUS  
UNIVERSITET



KØBENHAVNS  
UNIVERSITET



DET NATURVIDENSKABELIGE  
FAKULTET



DET TEKNISKE  
FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-  
ABONNENTER



novo nordisk®



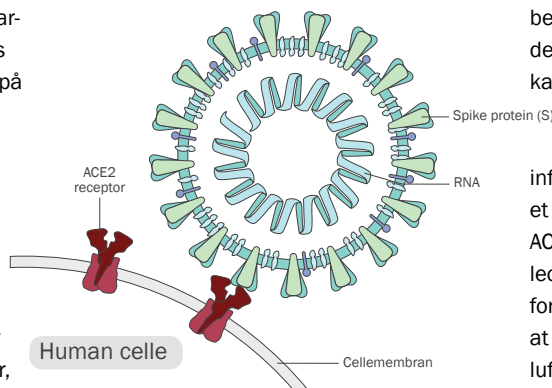
# Molekylær lokkedue kan snyde coronavirus

**S**ARS-CoV-2; den virus, der er ansvarlig for coronapandemien, ramte os for et år siden og vendte vores liv på hovedet.

Selv om der er sat gang i vaccinationsprogrammer over hele verden, ved vi endnu ikke, hvor længe vaccinen kan beskytte os, og om de vacciner, der allerede er godkendte, virker mod de nye virusvarianter. Det ser desuden ud til, at vacciner ikke kan forhindre sygdom hos mennesker, som allerede er smittede, og der findes ingen lægemidler, der kan helbrede smittede mennesker.

Ny forskning fra lektor Jasmin Mecinovic og kolleger på Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, Syddansk Universitet, præsenterer nu et stof, der kan danne grundlag for udvikling af medicin mod COVID-19.

»Vi bruger en tilgang, hvor vi efterligner naturen. Ideen er at forhindre virussen i at trænge ind i kroppens celler. Hvis virussen ikke trænger ind i cellerne, kan den ikke



Skematisk illustration af en coronavirus og den receptor, ACE2, på vores celler, som virussen binder sig via Spike-proteiner på overfladen. Illustration: Davian Ho for the Innovative Genomics Institute. CC By-SA 4.0.

overleve. Virussen bliver i stedet ødelagt af vores immunsystem – og dermed afværges infektionen,« forklarer Jasmin Mecinovic.

SARS-CoV-2 tilhører den familie af coronavirus, der er opkaldt efter den karakteristiske kroneformede kappe, som beskytter virussens kernemateriale, RNA, mod at blive

beskadiget. I kappen sidder nogle proteiner, der kan bryde ind i en værtscelle, så virus kan komme ind.

Når virus skal bryde ind i en celle og inficere den, interagerer proteinerne med et bestemt enzym i cellen, der kaldes en ACE2-receptor. Receptoren, der findes på celloverfladen i mange forskellige vævstyper, forekommer især i lungerne. Det er derfor, at SARS-CoV-2-infektion kan føre til alvorlige luftvejssymptomer.

Forskerholdet har skabt et syntetisk peptid (en lille del af et protein), som ligner ACE2-receptoren på en prik. Og det kan fungere som en "lokkedue", der forhindrer proteinerne i at trænge ind i værtscellen. Ph.d-studerende Marij Maas, der er første-forfatter på artiklen, tror, at den molekylære lokkedue, kan vise sig være et effektivt behandlingsmiddel til at forhindre infektion med virussen.

Af Birgitte Svennevig, SDU.  
Chem. Commun., 2021, 57, 3283

## Forskere bremser antihydrogen med laser

**V**ed hjælp af ultraviolet laser, er det lykkedes det internationale forskerhold omkring ALPHA-eksperimentet ved CERN, som også tæller forskere fra Institut for Fysik og Astronomi ved Aarhus Universitet, at nedbremse antihydrogen-atomer til hidtil uset lave hastigheder. Det er endnu en milepæl på vejen mod at kunne foretage præcise målinger på disse atomer, som vil kunne teste fundamentale teorier indenfor fysikken.

Tilbage i 1995 lykkedes det forskere ved CERN at producere de første atomer af antihydrogen. De bevægede sig ved en fart tæt på lysets, og eksisterede derfor kun i ganske få nanosekunder, før de blev udsløjet ved kontakten med partikeldetektoren. Den store udfordring ved at studere antiatomer er, at de udsløjet så snart, de kommer i kontakt med almindeligt stof, som hele vores verden jo som bekendt består af. Siden har forskerne derfor arbejdet på at udvikle metoder til at kunne producere prøver



Professor Jeffrey Hangst, Aarhus Universitet er talsperson for ALPHA-eksperimentet ved CERN. Foto: CERN

af antihydrogen, som kan fastholdes ved betydeligt lavere hastigheder. I dag kan forskerne rutinemæssigt producere og fastholde 1000 antihydrogen-atomer i flere timer i magnetiske fælder. Men selvom disse antihydrogen-atomer bevæger sig væsentligt langsomme end de første, der blev produceret, bevæger de sig dog stadig med en hastighed på over 300 kilometer i timen i de magnetiske fælder. Det er stadig så høj en hastighed for meget, at det

udgør et problem for de præcisionsmålinger, forskerne ønsker at udføre.

I det nye studium har forskerne udnyttet, at massen af et antihydrogen-atom er så lille, at dets hastighed kan ændres med omkring 12 kilometer i timen, hver gang det absorberer en foton (en lyspartikel) fra en laser. Forskerne fintunede bølgelængden af en ultraviolet laser, således at det kun var antihydrogen-atomer, der bevægede sig direkte mod laserpulsens, der blev bremset. Når antihydrogen-atomerne absorberer en foton, kommer de i en exciteret tilstand, og efterfølgende falde de spontant tilbage i deres grundtilstand ved at udsende en anden foton i en tilfældig retning. Forskerne observerede, at sådanne foton-absorberinger og -udsendelser bremsede en delmængde af antihydrogen-atomerne i prøven til under 50 kilometer i timen, hvilket svarer til en nedkøling af atomerne.

CRK, Kilde: Nature 592, 27-28 (2021)



# Gamle iskerner gemte på fossil-skat

I forbindelse med en flytning i 2017 fandt forskere fra Københavns Universitet på et lager i Rødovre uåbnede kasser med iskerner fra 1966 – de første iskerner boret i verden. Analyserne af den glemte is er netop publiceret i tidsskriftet PNAS, og resultatet er banebrydende.

For inde i iskernerne, der stammer fra bunden af indlandsisen ved Camp Century i Grønland, har KU-forskerne, som de første nogensinde, fundet makrofossiler, der er flere millioner år gamle. Det vil sige fossiler, som er så store, at de kan ses uden mikroskop.

»Vi var sådan helt: Wow – sikke en skat, vi har fundet. For inde i de her iskerner, der mest af alt ligner sammenpresset grus, kunne vi se hele kviste og blade, perfekt bevaret gennem millioner af år. Vi har aldrig fundet noget lignende før, og det er der heller ingen andre, der har,« siger Dorthe Dahl-Jensen,



Her ses nogle af forskerne bag undersøgelsen i gang med at hive de glemte iskerner op af en flyttekasse.

Foto: Dorthe Dahl-Jensen

der er professor på Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet og uddyber:

»Normalt skal der omfattende DNA-analyser til at fortælle os, hvilke planter og dyr, der er

rester af i isen. Men her kunne vi se det med samme. Det handler om, at isen er blevet boret et helt genialt sted, hvor der åbenbart har været planter og grene fra før isen dækkede Grønland,« siger hun.

Selvom kviste og blade måske ikke lyder af meget, fortæller de en sjælden og unik historie om planter og landskabet i Grønland for millioner af år siden i varme klimaperioder, hvor der ikke har været is over Grønland.

»De blade, kviste og planterester, vi har fundet, er blandt andet levermos-planter og almindelig kærmos.

Vores analyser viser, at planter og kviste stammer fra borealskov, det vil sige skov med nåletræer, birk og pil, som vi kender fra især Canada og Alaska. De her planter og træer kan klare kolde klimaforhold,« forklarer Dorthe Dahl-Jensen.

Ida Eriksen, KU. PNAS. doi.org/10.1073/pnas.2021442118

# Fremtidens fly skal flyve på CO<sub>2</sub> og brint

Før corona-pandemien lammede flytrafikken, stod Det Europæiske Miljøagentur bag en prognose, som viste, at fra 2017-2040 vil den europæiske luftfartssektor vokse med 42 procent, mens CO<sub>2</sub>-udledningerne vil stige 21 procent. Derfor arbejder forskere overalt i verden på højtryk for hurtigst muligt at udvikle bæredygtige flybrændstoffer, så passagerer kan nyde den hurtige tur verden rundt uden sort samvittighed.

»Vi kommer aldrig til at flytte mennesker uden at udlede CO<sub>2</sub>, men vi ønsker alle at få mest muligt brændstof til mindst mulig klimabelastning. Vi ved endnu ikke hvilken metode, der er mest miljømæssig og økonomisk bæredygtig, derfor er vi nødt til at prøve os frem,« siger professor Morten Birkved fra Institut for Grøn Teknologi, Syddansk Universitet.

Sammen med nogle af de tungeste spillere på den europæiske scene indenfor forskning



Foto: Colourbox

og udvikling af bæredygtig energi er Morten Birkved med i projektet Take-Off, som udmærker sig ved, at flyene ikke behøver at få udskiftet sine motorer for at flyve grønt.

»Folk forestiller sig, at flyene skal have solfangere på ryggen for at flyve klimaneutralt. Men nej, det er den samme Boeing 737, som flyver os til Paris, som vi også i fremtiden vil sætte os ind i. Det er præcis samme motor,

det er kun brændstoffet, vi ændrer fra fossil jetfuel til bæredygtigt jetfuel,« påpeger Morten Birkved.

I projektet Take-Off vil forskerne skabe bæredygtigt flybrændstof ud af brint og CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub>'en skal høstes fra skorstenene på for eksempel affaldsforbrændinger, mens brinten skal produceres via elektrolyse ved hjælp af vindmølleenergi. En ny type katalysatorer, som forskningsinstituttet TNO i Holland har patent på, skal effektivt omdanne CO<sub>2</sub> og brint til brændstoffer.

»Hvis det lykkes at producere flybrændstoffer ved hjælp af denne metode, vurderer jeg, at det meget vel kan vise sig at være den både mest bæredygtige, men også billigste metode, fordi den ikke kræver nye fly eller motorer. Det kræver blot, at vi får de særlige katalysatorer op at køre,« forklarer Morten Birkved.

Birgitte Dalgaard, SDU



# Ninja-protein giver afgrøder flere sideskud

Et forskerhold anført af Københavns Universitet har opdaget en mikroskopisk ting, som måske kan gøre en stor forskel. De har nemlig identificeret et såkaldt mikroprotein, som er i stand til at styre faconen på planter som byg og ris. Mikroproteinet har de døbt LITTLE NINJA.

»Når vi øger niveauet af LITTLE NINJA, bliver planten lavere og mere busket. Vi kan altså tvinge planten til at danne en anden facon. Og det er eftertragtede træk ved afgrødeplanter, da det gør dem mere modstandsdygtige over for vind. Flere sideskud kan også betyde flere blomster og dermed flere frugter. Så hvis man justerer på mængden af LITTLE NINJA i planten, er der potentiale til at få mere produktive afgrøder på en bæredygtig måde,« forklarer lektor Stephan Wenkel fra Institut for Plante- og Miljøvidenskab ved Københavns Universitet.



Risplanten til venstre har et naturligt niveau af LITTLE NINJA, mens niveauet i risplanten til højre er forhøjet. Foto: Københavns Universitet

Mikroproteiner er resultat af genmutationer, der sker gennem evolution. Nogle gange sker der mutationer, som omdanner et stort protein til et meget lille protein, og i nogle tilfælde kan det lille protein (mikroproteinet) regulere store proteins aktivitet og har dermed stor indflydelse på de biologiske processer.

Sådan et mikroprotein er LITTLE NINJA. Det dominerer det store "partnerprotein" NINJA,

som er med til at styre signaleringen af hormonet jasmoninsyre, der fungerer som plantens forsvarssystem mod blandt andet insekter. Studiet indikerer, at når man ændrer niveauet af LITTLE NINJA, ændrer man også i signaleringen af jasmoninsyre i planten, som altså påvirker plantens vækst og udseende.

Mikroproteiner er et relativt nyt og uudforsket forskningsfelt, som Stephan Wenkels gruppe foreløbigt er den eneste i verden, der specialiserer sig i. Men studiet er ifølge Stephan Wenkel

med til at vise potentialet i mikroproteiner:

»Vi har nu en meget bedre forståelse af, hvor betydelig en rolle mikroproteiner spiller i planter, og hvordan vi kan bruge dem som bioteknologisk værktøj,« siger han.

Maria Hornbek, Københavns Universitet. Studiet er udgivet i det videnskabelige tidsskrift PNAS: [doi.org/10.1073/pnas.2005198117](https://doi.org/10.1073/pnas.2005198117)

# Center skal styrke beredskab mod pandemier

Viden om tidligere og nuværende pandemier er vigtig for beredskabet imod fremtidige pandemiudbrud.

På Roskilde Universitet er et nyt forskningscenter, PandemiX Center, blevet oprettet til at undersøge pandemiers dynamik og effekt. Denne viden kan danne grundlag for et beredskab imod nuværende og fremtidige pandemier.

Professor i folkesundhedsvidenskab Lone Simonsen fra Institut for Naturvidenskab og Miljø er leder af PandemiX Center.

»Vores forskningsgruppe har arbejdet på højtryk, lige siden COVID-19 kom til Danmark. De forskellige ekspertiser i vores gruppe har gjort det muligt at komme med unikke input til myndighedernes håndtering af pandemien. Som forskningscenter vil vi i højere grad kunne dele vores forskning med alle interesserede,« siger Lone Simonsen.

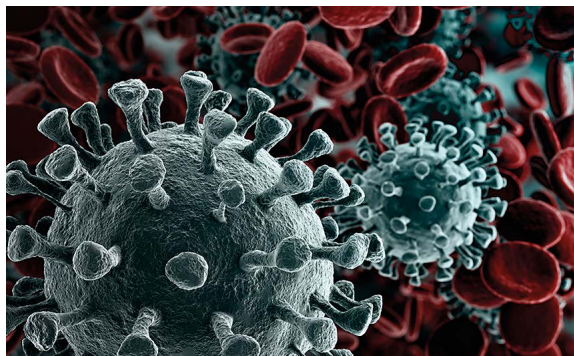


Foto: Shutterstock

Med en tværdisciplinær tilgang vil forskningscentret tage udgangspunkt i matematisk epidemiologi, og centrets forskere vil desuden samarbejde med kolleger fra både humaniora og samfundsvidenskab. Målet er at forstå, hvordan pandemier bliver påvirket af blandt andet samfundsinstitutioner, livsstil, forholdet mellem land og by, økonomi og migration.

Forskerne i PandemiX Center vil bruge matematiske modeller til at undersøge mønstre og virkning af pandemier og afbødningsstrategier som eksempelvis vacciner og andre biomedicinske interventioner. Forskningscentrets mål er desuden at give let adgang til og skabe synlighed omkring Roskilde Universitets forskning relateret til pandemier og klæde kommende generationer på inden for matematisk modellering af smittsomme sygdomme. PandemiX Center

arbejder sammen med forskere på Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet og DTU Sundhedsteknologi. I forskningsprojektet NORDEMICS, som har modtaget cirka 11 millioner kroner fra NordForsk, samarbejder forskningscentret desuden med partnere fra Universitet i Oslo, Norge, Turun Yliopisto (University of Turku), Finland og Lunds Universitet, Sverige.

RUC Kommunikation og Presse, [ruc.dk/research-centre/pandemix-center](https://ruc.dk/research-centre/pandemix-center)



# URETFÆRDIGT DØMT?

## Måske, viser forskning

Af Sanne Holm Nielsen, Aalborg Universitet

**E**n næsten 20 år gammel mordsag fra Australien er blevet et varmt emne i de danske medier. I 2003 blev Kathleen Folbigg dømt for at have myrdet sine fire spædbørn, men nægtede sig skyldig. Resultater fra en forskergruppe fra Institut for Kemi og Biovidenskab på Aalborg Universitet (AAU) viser, at det er sandsynligt, at børnene ikke blev slået ihjel, men at de potentielt døde af en ekstremt sjælden genmutation.

I 2019 udførte australske forskere genetiske analyser af gamle blod- og vævsprøver fra børnene. Analyserne viste, at alle børn havde genetiske mutationer, der muligvis kunne have forårsaget deres død. Men i en appelsag, hvor de australske forskere vidnede, afviste retten at disse resultater havde betydning for sagen.

To af børnene havde en ekstrem sjælden type mutation i et gen, der producerer proteinet *calmodulin*. Calmodulin-mutationer blev første gang beskrevet i 2012 af lektor Mette Nyegaard fra Aarhus Universitet, med bidrag fra professor og institutleder Michael Toft Overgaard fra AAU. Siden da er der identificeret 76 mennesker verden over med mutationer i calmodulin-gener. Calmodulin-proteinet er afgørende for en præcis hjerterytme: Hjertermuskelcellerne bliver stimuleret til at trække sig sammen af hurtige strømme af calciumioner. Calmodulin fungerer som en sensor, som styrer disse calciumstrømme.

Michael Toft Overgaard leder en af verdens førende forskningsgrupper inden for mutationer i calmodulin, og de blev bedt om at hjælpe de australske forskere – og retten – med at afgøre, om mutationen i Folbigg-familien faktisk kunne have forårsaget børnenes død.

»Det kan være meget vanskeligt at afgøre, om sådanne genetiske mutationer kan forårsage pludselig hjertestop. Men på AAU har vi udviklet nogle avancerede ana-



Helene Halkjær Jensen (venstre) og Malene Bredal Brohus (højre) – begge postdocs på AAU – har udført forsøg, der viser, at en mutation i den australske Folbigg-familie ville give børnene en meget høj risiko for at opleve pludseligt hjertestop. Foto: Camilla Kristensen, AAU

lysemetoder, der giver os mulighed for at studere effekten af mutationerne i en slags minimodel, der efterligner hvordan hjertet fungerer, hvis en person har en mutation i et calmodulin-gen,« forklarer Michael Toft Overgaard.

### Opråb fra forskere

I foråret 2020 gennemførte Malene Bredal Brohus og Helene Halkjær Jensen, begge postdocs i forskergruppen i Aalborg, en række forsøg for at vise, hvilke funktionelle virkninger børnenes mutation i calmodulin kan have i hjertet.

»Vores resultater viser med stor sikkerhed, at mutationen i Folbigg-familien ville give disse børn en meget høj risiko for at opleve pludseligt hjertestop. Andre individer med calmodulin-mutationer, der viser samme effekt i vores forsøg, har oplevet alvorlige hjerterytmier, og flere er omkommet. I disse tilfælde er calmodulin-mutationerne fastslået som årsagen. Vi kan selvfølgelig ikke med vores forskning vide, hvad der skete i Australien for omkring 20 år siden,

men vi håber, at Kathleen Folbigg kan få sin sag genåbnet og få en retfærdig rettergang på baggrund af de nyeste videnskabelige resultater,« siger Malene Bredal Brohus.

De danske forskere offentliggjorde deres resultater sammen med australske og internationale samarbejdspartnere i november 2020. Nu har resultaterne medført, at mere end 100 internationale jurister og forskere, inklusiv nobelprismodtagere og præsidenten for *The Australian Academy of Science*, har underskrevet en anmodning om benådning af Kathleen Folbigg, som er fremsendt til guvernøren i New South Wales. Ved et nyligt retsmøde om sagen den 15. februar 2021, afviste retten at inkludere viden om calmodulin-mutationerne i vurderingen af skyldsspørgsmålet, hvilket har ledt til et øget pres fra det videnskabelige samfund for at ændre retspraksis. De danske forskningsresultater er derfor blevet et nyt omdrejningspunkt for bevisførelsen i sagen – og genstand for en diskussion om, hvordan videnskabelige data bruges i en retssal. ■



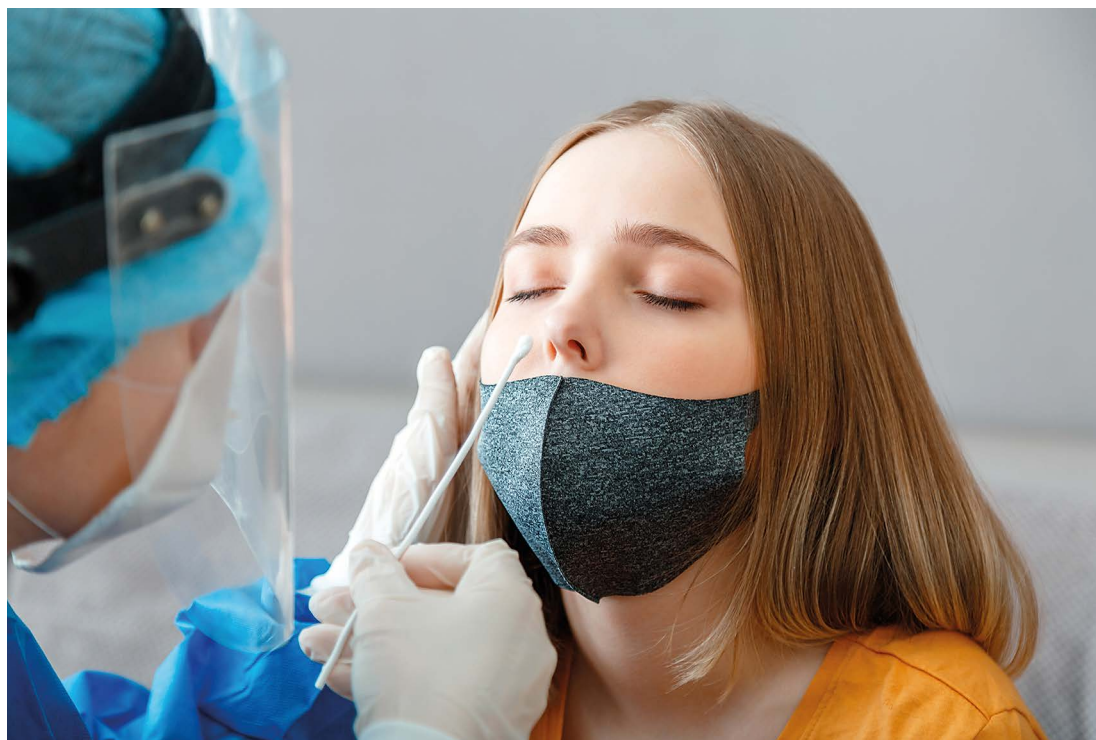


Foto: Colourbox

# COVID-19 TESTS: HVAD TESTER DE?

Om forfatterne:



Karen Angeliki Kroghfelt er professor (MSO), tilknyttet PandemiX Center. Hun forsker i infektionssygdomme, især mikroorganismers evne til at forårsage sygdom, samt værtens forsvarsmekanismer. karenak@ruc.dk



Camilla Adler Sørensen er videnskabelig assistent. Hun er uddannet cand. scient i biologi med speciale i mikrobiologi. camillaa@ruc.dk

Begge ved Institut for Naturvidenskab og Miljø, Roskilde Universitet.

Formentlig vil tests en rum tid endnu fylde meget i kampen for at begrænse udbredelsen af coronavirus. Du får her en oversigt over, hvad de forskellige tests går ud på, hvad svaret betyder, og hvilke begrænsninger de forskellige test har.

**I**Danmark befinder vi os i skrivende stund i en massiv test-storm grundet virussen SARS-CoV-2, der forårsager sygdommen COVID-19. Selvom vi nu er et år inde i pandemien, er behovet for at teste kun blevet større og større, og vi ser vi frem mod en tid, hvor restaurantbesøg, kulturliv, rejseaktiviteter og meget andet vil være bestemt af, hvilket testsvar man kan fremvise.

Der er generel forvirring i samfundet over, hvordan der testes, hvad svaret betyder, og hvorfor man skal testes flere gange – også, når man er rask. Denne artikel giver en over-

sigt over de forskellige tests, hvilke muligheder og begrænsninger de enkelte tests har, hvad de tester for, og hvad svaret betyder.

Det er vigtigt at holde fokus på, hvornår man skal testes, og hvilken test man skal anvende. Der kan ikke drages nogen direkte parallel imellem testresultater, sygdom og smitte. Testene er en fin rettesnor, men det forudsætter at de anvendes og udføres korrekt. Resultater skal sammenholdes med testenes begrænsninger og andre faktorer såsom sygdomsforløb og symptomer hos den enkelte. Og uanset testens udfald, så gæl-

der sund fornuft: Bliv hjemme hvis du er syg!

## Testtyper for COVID-19 i Danmark

I Danmark anvendes der i det offentlige testsystem to forskellige metoder til at påvise SARS-CoV-2. Den ene test er den udbredte PCR-test, hvor der podes gennem munden og gives svar inden for 24-48 timer. Den anden er en senere udrullet antigen-hurtigtest, hvor der podes gennem næsen og gives svar inden for cirka 15 minutter. For at undgå ubehag ved podning, er man i gang med at teste brugen af spyt til både PCR og antigen tests.



## Testtyper for COVID-19

	PCR-test	Antigentest	Antistoftest
<b>Formål</b>	PCR-testen gør det muligt at påvise lave mængder SARS-CoV-2 virus RNA i en prøve.	Antigen-hurtigtesten screener for SARS-CoV-2 virusproteiner (antigener).	En antistoftest påviser tilstedeværelsen af antistoffer mod SARS-CoV-2.
<b>Udførelse</b>	Podning i svælget via munden. Kan være svært at fange virus på grund af ujævn fordeling af virus i slimhinderne.	Podning via næsen. Kan være svært at fange virus på grund af ujævn fordeling af virus i slimhinderne.	Blodprøve taget med en kanyle eller ved et finger-prik. Antistoffer er fordelt ensartet i blodet og derfor uafhængig af mængden af blod.
<b>Svartid</b>	24-48 timer	15 minutter	Hurtig: 15 minutter ELISA: 24-48 timer
<b>Sensitivitet og specificitet *</b>	Høj sensitivitet og høj specificitet, da den kan påvise små mængder SARS-CoV-2 RNA.	God sensitivitet og god specificitet, men lavere end PCR-testen.	Høj sensitivitet og høj specificitet. Det vides dog endnu ikke, hvor længe antistoffer mod SARS-CoV-2 findes i kroppen.
<b>Anvendelse</b>	Anvendes i høj grad, og testkapaciteten er løbende blevet udvidet.	Implementeret senere i forløbet og anvendes som supplement til epidemihåndteringen.	Hurtigtesten er tilgængelig på udvalgte apoteker. ELISA anvendes i bloddonorbanken og til forskning.
<b>Hvilken test skal man vælge?</b>	Anbefales til personer med symptomer og nærkontakt til smittede.	Som målrettet screening til led i genåbningen eller ved behov for hurtig afklaring. Anbefales at følge op med en PCR-test ved positivt resultat.	For afklaring om tidligere smitte og/eller vaccinationsrespons.

\*Sensitivitet angiver testens evne til at fange positive prøver. Jo højere sensitivitet, jo færre falsk-negative svar. Specificiteten angiver sikkerheden for at negative svar også er negative. Jo højere specificitet, jo færre falsk-positive svar.

Udover de to tests er det også værd at nævne en tredje test-type, nemlig en antistoftest. En antistoftest kan via en blodprøve påvise, om personer har været inficeret med SARS-CoV-2 og derved også, om de har opbygget naturlig immunitet mod virussen. Antistoftests findes både som en standardtest (kaldet ELISA) med prøvesvar indenfor 24-48 timer og som en hurtigtest med prøvesvar indenfor cirka 15 minutter (se tabel).

Ved PCR- og antigen-test søges der efter SARS-CoV-2 viruskomponenter i kroppen. Dog viser begge tests kun tilstedeværelsen af viruskomponenter, men kan ikke detektere, om virus er levende og smitsom. Det er vigtigt at forstå, at selvom PCR-testen er rigtig god til at finde SARS-CoV-2 viruskomponenter (høj sensitivitet), er den faktisk ikke altid den bedste test til at bedømme, om man bør isoleres. Det skyldes, at PCR-testen finder viruskompo-

nenter flere uger efter, at virus ikke længere smitter. Selvom antigen-testen generelt er mindre sensitiv end PCR-testen har studier vist, at den er mere præcis til at finde personer med aktiv SARS-CoV-2. Når der testes for antistoffer, måler man på kroppens respons mod virusinfektionen. Der testes altså ikke for tilstedeværelsen af SARS-CoV-2, men i stedet, om man har været inficeret og dannet antistoffer (beskyttelse) mod virussen. Her er det værd at tilføje, at er man vaccineret mod SARS-CoV-2 bør man også teste positiv for antistoffer mod SARS-CoV-2 cirka 10 dage efter vaccination. Test for antistoffer er relevant for at bedømme immunitet. Dog vides det endnu ikke, hvor længe vi beholder vores antistoffer.

Ingen af de nævnte tests (PCR/antigen/antistof) kan give et sikkert svar på levedygtigheden af virussen, og i hvilken grad man smitter. For at undersøge mere præcist, om

virus er aktiv, og hvor meget der er til stede, skal man dyrke den. Det er tidskrævende og kræver specielle laboratorier samt uddannet personale. Ingen tests kan give 100% sikkert svar, men hvis de anvendes og tolkes korrekt, kan de fungere som fine retningslinjer for den enkelte og samfundet.

### PCR-test

PCR er en forkortelse af Polymerase Chain Reaction. Det er en kædereaktion, der har til formål at kopiere en specifik genetisk sekvens i en prøve, så man får dannet mere af denne sekvens. En sekvens er rækkefølgen af byggesten i arvemassen hos en organisme. Ved PCR kan en prøve med meget lidt genetisk materiale – i dette tilfælde fra virussen SARS-CoV-2 – kopieres gennem cyklusser, således man får millioner af kopier til at lave forsøg på.

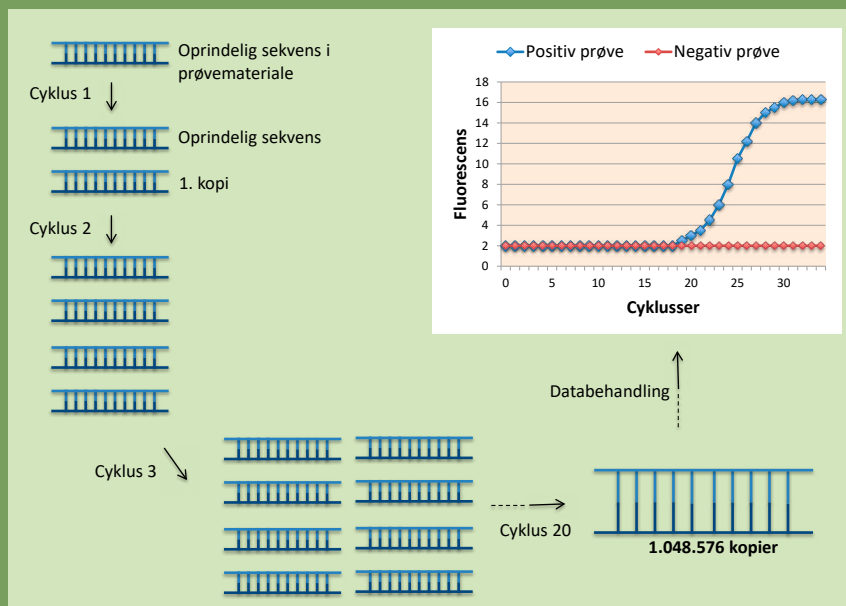
En PCR-test for COVID-19 kan



## Princippet i en PCR-test

Hovedingredienserne i en PCR-test er:

- Polymerase – et enzym, der hjælper med at bygge nyt DNA.
- Primere, som er små DNA-stykker udvalgt til at flankere den specifikke DNA-sekvens, der skal kopieres, således at det kun er denne sekvens, der kopieres. Derudover fungerer de også som startsignal for polymerasen og fortæller, hvor dannelsen af ny DNA skal starte.
- Template-DNA er det genetiske materiale i en prøve, som man ønsker at undersøge for tilstedeværelsen af en specifik sekvens.
- Nukleotider er de kemiske byggeblokke, der bruges til at skabe den dobbeltstrengede DNA-struktur.



Alle elementer blandes sammen i et testrør og køres gennem et indstillet program på en PCR-maskine.

Når der testes for SARS-CoV-2, anvendes der en udvidet PCR-test kaldet qRT-PCR-test (Quantitative Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction). Den følger samme grundprincipper som en standard PCR-test, men med et par ekstra trin.

“Reverse Transcription” (RT) er et trin, der tilføjes, fordi der arbejdes med virus-RNA og ikke DNA. Derfor

er det nødvendigt først at omdanne RNA til DNA, førend PCR-reaktionen køres. Enzymet Reverse Transcriptase konverterer viralt RNA til cDNA (complementary DNA) og derefter fungerer dette som template-DNA for reaktionen.

Det kvantitative (q) betyder, at det er muligt at følge, hvor meget DNA der kopieres per cyklus, og hvor meget der var i den oprindelige prøve. Dette gøres ved at måle stigningen af kopieret DNA for hver cyklus via en fluorescensmarkør (se figur).

Til aflæsning bruges Ct-værdier (Cycle Threshold), som angiver det antal cyklusser, der skal køres for at overstige baggrundsstøjen. Lave Ct-værdier (20-30) indikerer, at der er høje mængder af virus til stede. Høje Ct-værdier (40-45) betyder, at der er en lav mængde virus til stede. For SARS-CoV-2 anvendes testen kun kvalitativt indtil videre med et påvist/ikke påvist svar.

En fordel ved SARS-CoV-2 PCR-testen er, at den også kan anvendes til at teste for SARS-CoV-2 varianter.

give positive resultater en dag før, symptomerne starter, men i de fleste tilfælde identificeres sygdommen ikke før tilstedeværelsen af symptomer, da virusmængden er meget lav.

Antallet af cyklusser er sat i den høje ende for de PCR-tests, der anvendes til SARS-CoV-2 (eksempelvis 45 cyklusser), og det kan medføre, at specificiteten falder (hvilket resulterer i falsk-positive resultater). Desuden er det rapporteret, at et positivt PCR-resultat kun vidner om detektion af viralt RNA, men ikke om virussen er levende og smit-

som. Derudover er PCR-resultatet afhængig af, hvor prøven tages, prøvetagningsmetode og udførsel, samt udførsel af selve PCR-metoden, som er afhængig af nogle af de specifikke reagenser, der anvendes (primere), antal cyklusser, temperatur og kontrolprøver (disse parametre kan variere mellem laboratorier).

### Antigentest

En svartid på to dage kan være lang tid i form af tabte arbejdstimer og unødigt isolation ved negativt svar, både når man ser det fra et samfundsmæssigt per-

spektiv og fra den enkelte borgers synspunkt. Derfor er der blevet udviklet flere tests, som skal give et hurtigt svar på, om man er inficeret med SARS-CoV-2. Disse tests (ofte refereret til som hurtigtest, kviktest eller lyntest) screener for tilstedeværelsen af udvalgte SARS-CoV-2 antigener, som er specifikke proteiner, der findes på overfladen af virussen.

Prøven tages ved en podning i næsen og podepinden mikses med en væske, så prøven overføres til væsken. Herefter overføres et par dråber til en brønd på en



## Antigen-hurtigttest

Der podes i næsen med en pødepind efter antigener fra SARS-CoV-2. Pødepinden overføres herefter til en væske.

Nogle dråber fra prøven overføres til brønden (S) på testkassetten.

I brønden blandes prøven med SARS-CoV-2-antistoffer mærket med en farvemærker.

Antigener fra SARS-CoV-2 bindes til antistofferne og flyder videre gennem kassetten.

I testregionen er SARS-CoV-2-antistoffer bundet til teststriben og binder til komplekserne af antigen-antistof, der kommer forbi.

På testkassetten kan ses to streger, hvis testen er positiv. Den ene streg er en kontrol (C), den anden er, hvis SARS-CoV-2-antigener fra prøven er bundet i testregionen (T)

SARS-CoV-2-antigen  
 SARS-CoV-2-antistof mærket med farvemærker  
 Antigen-antistof-kompleks  
 SARS-CoV-2-antistof

Figureerne er eksempler, da der er variationer mellem kits fra forskellige producenter.

## ELISA-antistof test

Til ELISA anvendes en plade med 96 små brønde i. Hver brønd kan indeholde en prøve.

I hver brønd er bundet SARS-CoV-2 antigener til bunden, og hertil tilsættes blod.

SARS-CoV-2 antistoffer fra blodet binder til SARS-CoV-2 antigenen i brønden.

Til sidst tilsættes sekundære antigener mærket med et enzym, der skaber en farvereaktion via en kemisk proces.

Der måles på farveintensiteten, som vil være kraftig, hvis man har mange antistoffer og svag, hvis man har få. En negativ prøve vil ikke tage farve.

SARS-CoV-2 antigen  
 SARS-CoV-2 antistof  
 Antistof-antigen-kompleks  
 Sekundært antigen mærket med enzym

Figureerne er eksempler, da der er variationer mellem kits fra forskellige producenter.

testkassette, og efter 15 minutter kan svaret aflæses. Hvis der er SARS-CoV-2 antigener tilstede, vil det frembringe en farvet linje i aflæsningsvinduet. Er testen forløbet korrekt, skal der altid fremkomme en sekundær farvet linje som kontrol (se figur).

Der kan være variation i prøvesvar imellem forskellige antigen tests grundet anvendelse af forskellige kommercielle SARS-CoV-2 antistoffer. Antistofferne binder forskelligt til antigener, så afhængigt af, hvilke antistoffer der anvendes, kan bindingen være

mere eller mindre specifik for SARS-CoV-2, og det kan betyde, at man finder andre lignende virusser. Desuden er det en kvalitativ test med et positivt/negativt svar på tilstedeværelsen af antigener, men ikke et kvantitativt svar på, hvor meget antigen der findes

### Kilder:

N. Sethuraman, S. S. Jeremiah, and A. Ryo, "Interpreting Diagnostic Tests for SARS-CoV-2," *JAMA - Journal of the American Medical Association*, vol. 323, no. 22. American Medical Association, pp. 2249–2251, Jun. 09, 2020, doi: 10.1001/jama.2020.8259.

SSI, "PCR-test," 2021. <https://covid19.ssi.dk/diagnostik/pcr-test>.

E. Sheikhzadeh, S. Eissa, A. Ismail, and M. Zourab, "Diagnostic techniques for COVID-19 and new developments," *Talanta*, vol. 220. Elsevier B.V., p. 121392, Dec. 01, 2020, doi: 10.1016/j.talanta.2020.121392.

V. M. Corman et al., "Detection of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) by real-time RT-PCR," *Eurosurveillance*, vol. 25, no. 3, p. 2000045, Jan. 2020, doi: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.3.2000045.

R. Wölfel et al., "Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019," *Nature*, vol. 581, no. 7809, pp. 465–469, May 2020, doi: 10.1038/s41586-020-2196-x.

O. Vandenberg, D. Martiny, O. Rochas, A. van Belkum, and Z. Kozlakidis, "Considerations for diagnostic COVID-19 tests," *Nature Reviews Microbiology*, vol. 19, no. 3. Nature Research, pp. 171–183, Mar. 01, 2020, doi: 10.1038/s41579-020-00461-z.

i prøven, eller om virussen er levende og smitsom. Det betyder, at antigen-hurtigtesten generelt er mindre sensitiv, når den sammenlignes direkte med PCR-testen.

### Antistoftest

Ved en antistoftest måler man patientens immunrespons mod en sygdomsfremkaldende mikroorganisme ved hjælp af en blodprøve. Når kroppen bliver inficeret, sættes der under normale omstændigheder automatisk gang i immunsystemet, kroppens naturlige forsvar.

Et af de forsvar består af produktion af specifikke antistoffer (IgM og IgG), som genkender antigener på virus. Ved infektion reagerer kroppens immunsystem, og man kan opleve symptomer. Bliver man inficeret med samme virus igen, gendannes antistofferne hurtigt, og man vil oftest have milde eller ingen symptomer. Denne proces udnyttes også ved vaccination. Naturlig infektion og vaccination vil medføre immunitet, som kan

variere over tid. Antistoftesten er altså en vigtig metode til at detektere immunitet i samfundet, og om det er sandsynligt, at folk vil kunne inficeres igen.

En hurtig antistoftest kan produceres på lignende måde, som antigen testen beskrevet ovenfor. I stedet for at søge efter antigener med mærkede antistoffer, søger man efter antistoffer med mærkede antigener. En positiv prøve vil således også fremvise to streger – en som kontrol og en, hvis der er bundet antistoffer i testregionen.

Til at måle antistoffer i blodet anvendes som oftest en såkaldt ELISA-test, som står for Enzyme-Linked Immunosorbent Assay. Til ELISA anvendes plader med 96 små brønde, som derfor kan teste mange prøver ad gangen. I modsætning til antistof-hurtigtesten kan en ELISA måle mængden af antistoffer til stede i blodet og derfor give et kvantitativt svar på, hvor kraftigt et immunrespons, der har været mod SARS-CoV-2

virussen. Hvor kraftig immunresponsen har været vil også give en indikation af, hvor godt man er beskyttet fremover. Høj respons vil som hovedregel betyde bedre beskyttelse.

En antistoftest kan måle, om man har haft infektion (eller er vaccineret), men er ikke et effektivt værktøj for at måle aktiv infektion, da det tager noget tid at danne antistoffer. Afhængig af, hvilke antistoffer der testes for, vil det også påvirke sensitiviteten af testen. Nogle antistoffer krydsreagerer med antigener på andre vira. I dette tilfælde kan det betyde detektion af en anden type coronavirus, der giver almindelig forkølelse.

Antistof-hurtigtesten er forholdsvis nem at udføre, men man modtager kun et kvalitativt svar (positiv/negativt). Ved en ELISA er det ikke alle, der kan foretage testen, da det kræver uddannet personale at tage blodprøven og et klassificeret laboratorie til analysen. ■

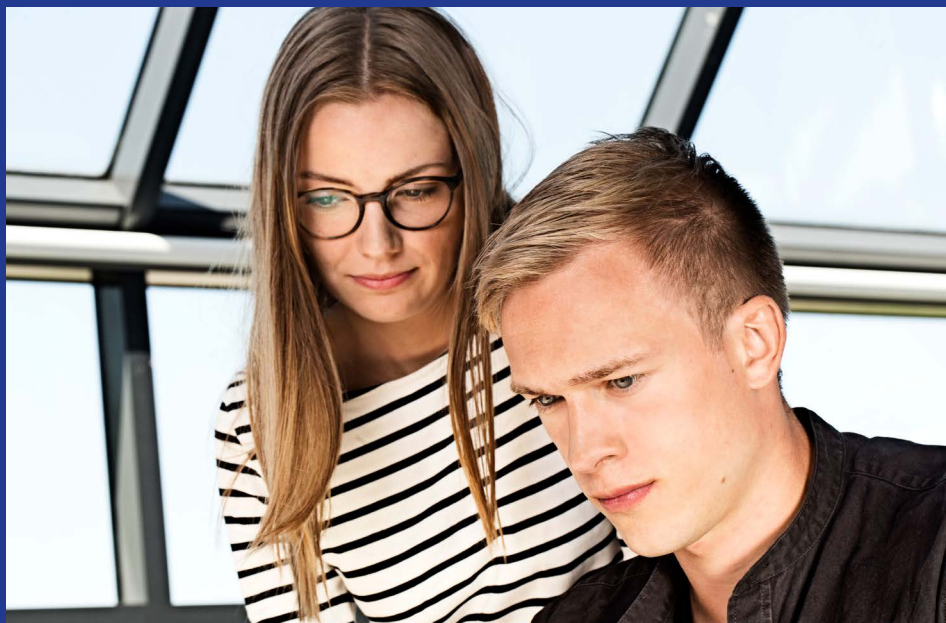
# Study Mathematical Bioscience

Roskilde University offers a unique integrated master's programme for students with a deep interest in mathematics and biology.

Specialize in mathematical modeling of health and disease developments, ecology, or mathematical methods.

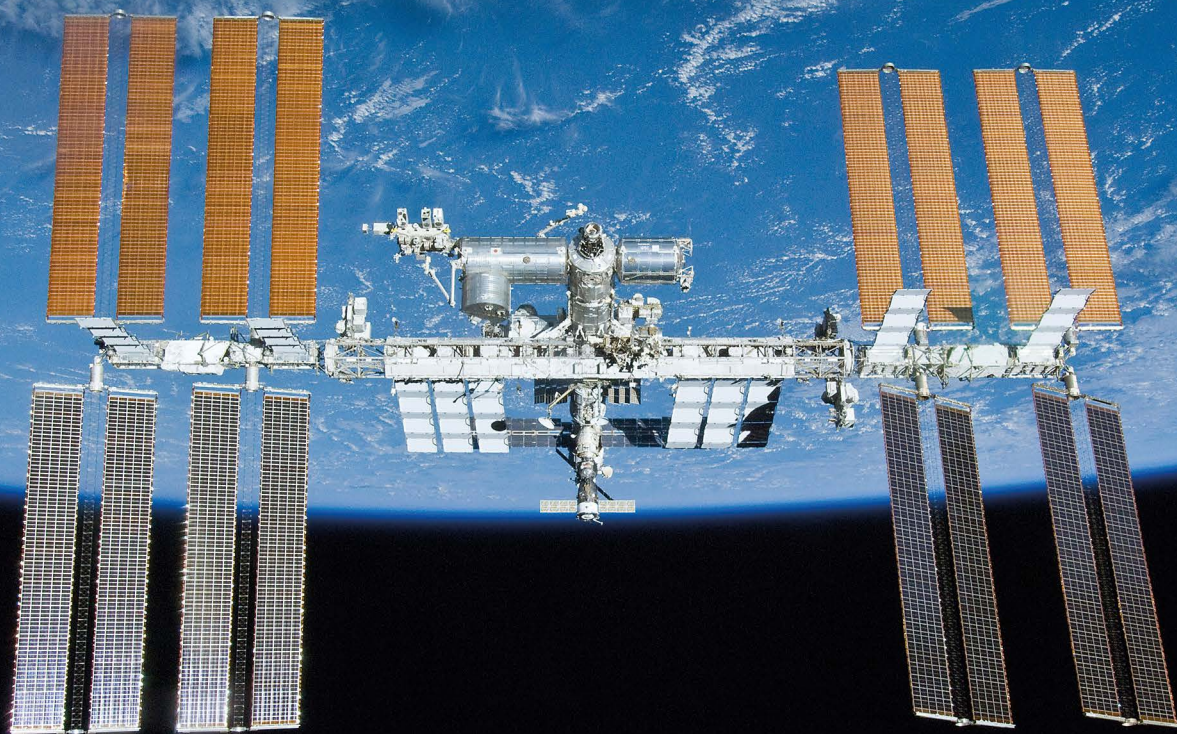
→ **Mathematical Bioscience**

[ruc.dk/en/master/programmes](http://ruc.dk/en/master/programmes)



**RUC**





# VEJEN TIL RUMMET

Her i foråret 2021 kan man læse et usædvanligt jobopslag – nemlig om at blive astronaut i den europæiske rumfartsorganisation ESA. I den anledning ser Ole. J. Knudsen nærmere på, hvad der skal til for at blive astronaut og på den danske rumbranche.

I september 2015 var den danske ESA-astronaut Andreas Mogensen på sin første tur i rummet, og det blev omtalt overalt i Danmark før, under og efter den korte tur på bare 10 dage. Andreas blev hurtigt en celebrity i Danmark og er det stadig. Det illustrerer den helt særlige status, der er knyttet til jobbet som astronaut, og det er bestemt heller ikke en stilling, man ser slået op særlig ofte. Men lige nu er der faktisk bud efter nye astronauter, da den europæiske rumfartsorganisation ESA regner med at ansætte 4-6 karriereastro-

nauter i den kommende tid. Sidst ESA ansatte astronauter var i 2008.

Når der er bud efter nye astronauter fortæller det også, at der er godt gang i de europæiske rumaktiviteter, hvor vi også i Danmark er godt med.

I de kommende år er der planlagt nye bemandede rumrejser til rumstationen Gateway i kredsløb om Månen, landinger på Månen og på meget længere sigt rejser til Mars og måske til nogle af asteroiderne. Den internationale rumstation ISS i kredsløb om Jorden bliver også

besøgt regelmæssigt i endnu en årrække.

Til alle de aktiviteter skal der bruges kvinder og mænd, som har lyst og evner til et meget specielt og krævende og spændende job.

## En lang oplæring

Oplæringen af en astronaut varer nemt 3-5 år. Som færdiguddannet får man ikke automatisk tildelt en rumtur – men når man så bliver udpeget, skal man til at træne specifikt til den opgave i de næste 2-3 år. Der er mange om budet, og der

Den Internationale Rumstation set fra rumfærgen Atlantis i 2010. Foto: NASA.

Forfatteren



Ole J. Knudsen er kommunikationsmedarbejder ved Stellar Astrophysics Centre (SAC), Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. Han formidler naturvidenskab som foredragsholder, forfatter, medvirkende i radio og på TV og rådgiver for pressen. [ojk@phys.au.dk](mailto:ojk@phys.au.dk)

## Bliv astronaut

Hvis du er en af dem, der altid har drømt at blive astronaut, har du nu chancen indtil den 28. maj i år, hvor ansøgningsfristen udløber i denne omgang. Ellers opstår muligheden igen i 2027, når der igen bliver opslået stillinger som europæisk astronaut.

På hjemmesiden [BlivAstronaut.dk](http://BlivAstronaut.dk) kan du både få mere information om det aktuelle astronaut-jobopslag og vejledning i, hvilke studievalg, som vil være velegnede, og hvad du ellers kan gøre her og nu, hvis du kunne tænke dig at søge i næste ansøgningsrunde.

Der er også information at hente for dig, som måske ikke har drømmen om at flyve i rummet, men synes at rumforskning og astronomi er totalt spændende, eller hvis du vil stille imod en karriere i et rumfirma, eller i rumforskningen, hvor du kan blive en af de uundværlige tusindvis, som er nødvendige for at vi kan sende astronauterne derud.

ESA forudsiger, at man indenfor organisationen skal ansætte cirka 100 medarbejdere årligt i de næste 10 år bare for at holde trit med den naturlige afgang på grund af alder.

[BlivAstronaut.dk](http://BlivAstronaut.dk) er lavet af partnerskabet Space Exploration Denmark, der er en samling af danske aktører i et fælles offentligt-privat partnerskab, som har til opgave sammen at udnytte det danske potentiale for Space Exploration. Partnerskabet samler blandt andet marsforskere, astronomer, rummedicinere, medikovirksomheder, arkitekter, satellitudviklere og robotforskere.



Plakat fra ESA.

er mange forhold, som bestemmer, hvem der bliver udpeget til de kommende rumflyvninger.

Når man som astronaut ikke lige forbereder sig til sin næste tur i rummet, arbejder man sammen med de ingeniører og forskere, som studerer forholdene i rummet, eller som er ved at udvikle nyt udstyr, som skal bruges til de kommende rumflyvninger.

Astronauterne er også ambassadører og missionærer for forskning i al almindelighed og rumforskning i særdeleshed, og de er rollemodeller for unge, som drømmer om en karriere i rumbranchen.

### Ikke kun noget for "mænd af den rette støbning"

Som vi så det i 2015 med Andreas Mogensens rumrejse, er der en meget stor national prestige i at have

en astronaut med på en spændende og inspirerende mission.

Halvdelen af det nye hold bliver udpeget fra de medlemslande i ESA, som betaler mest til samarbejdet, og resten blandt de resterende lande, som betaler fra 15 % og derunder til budgettet. Danmarks bidrag er omkring 1,5%, så chancen for, at en dansk astronaut bliver udvalgt i denne omgang er forsvindende lille – men ESA har officielt meddelt, at de "små" lande jo kan overveje at øge deres bidrag!

Der var en gang, hvor astronauterne var toppen af toppen af "Mænd med den Rette Støbning" – The Right Stuff, som det hedder i Tom Wolfes roman. Det var mest personer (læs: mænd!), som var hentet i militæret; og især i testpiloternes heltedrige skare. Kravene har

siden ændret sig. I dag kan man være med, hvis man er sund og rask, har en videregående teknisk eller videnskabelig uddannelse og har arbejdet med sit fag i mindst tre år. Der er ingen særlige krav til alder, og man skal blot beherske sit modersmål og så et sprog mere – typisk engelsk, men russisk eller kinesisk vil det heller ikke være så tosset at kunne.

### Er der overhovedet brug for mennesker i rummet?

Diskussionen er mindst lige så gammel som drømmen om at flyve i rummet. Bemandet rumflyvning er meget dyrt, for det at sende et menneske ud i det utilgiveligt fjendtlige miljø i rummet koster ekstra i livsfornødenheder og ekstra sikkerhedsudstyr, som alt sammen vejer til og mindsker størrelsen af den øvrige nyttelast, som raketterne



kan have med sig. Man kan få rigtig mange rumsonder eller fjernstyrede robotter for de penge, som det koster at have astronauter med. Fordelen med mennesker ombord er ekstra fleksibilitet, og muligheden for at ændre ting undervejs, især når og hvis der sker noget uforudset.

Og så skal man ikke undervurdere den psykologiske effekt ved, at der bare er så meget mere identifikation ved at se et menneske, måske endda én fra sit eget land, betræde Den røde Planet. En effekt, der kan omsættes til forskningsbevillinger og øget rekruttering af dygtige unge mennesker til rumfagene. Man kan også argumentere, at da det er langt mere kompliceret at sende mennesker afsted, vil de potentielle nyttevirksomheder af nyudviklet teknologi være desto større.

### Projektastronauter og parastronauter

Denne gang ansætter den europæiske rumorganisation også omkring 20 såkaldte projektastronauter. De skal udgøre et reservekorps, som får en grunduddannelse af ESA, men som derefter vender tilbage til deres oprindelige arbejde. Ved særlige behov kan ESA så senere trække på deres viden og erfaring, og de kommer frem i rækken ved de næste astronautansættelser om 6 og 12 år. Så er man bidt af rummet er det at blive projektastronaut en god chance for at forblive i nær kontakt med rumforskningen og rumerhvervene.

Som noget helt nyt i astronautsammenhæng har ESA meddelt, at man har til hensigt at udforske mulighederne for også at sende personer med fysiske handicap i rummet. I første omgang vil man forsøge at finde en eller to personer, som opfylder alle de øvrige krav, som de andre astronautkandidater skal opfylde, men som tillige har et handicap. Det kan dreje sig om en manglende fod eller to, manglende underben eller at ens ben har meget forskellig længde. Det skal betragtes som et pilotprojekt, hvor

man vil undersøge hvilke særlige krav og muligheder, der vil være – om det for eksempel vil være sværere eller lettere at bevæge sig i vægtløs tilstand. Parastronauten vil indgå i gruppen af projektastronauter og skal ikke regne med at få tildelt en rumtur.

I opslaget om den nye gruppe astronauter lægger ESA denne gang endnu mere vægt end tidligere på, at alle kan søge: kvinder, personer fra etniske minoriteter og personer med mindre handicap. Rumorganisationen har helt tydeligt vejret morgenluft både angående politisk korrekthed og henvisninger til FN's 17 verdensmål for bæredygtighed. Det har fået skeptiske journalister til at spørge, om der er tale om symbolpolitik, men det benægter organisationen selvfølgelig.

### Rumbranchen er meget andet end astronauter

Rumbranchen er en branche, som ikke kun drejer sig om at flyve derudad, men også om de tusindvis af job på jordoverfladen i de mange rumfirmaer. I Danmark alene er der omkring 200 firmaer og cirka 2400 personer, som arbejder i rumbranchen. Desuden arbejder i hundredevis af forskere og studerende på vore universiteter med rummet på den ene eller den anden måde; lige fra konstruktion af satellitinstrumenter til rumjura. Det er alt sammen områder i en rivende udvikling, så der er fine muligheder for ansættelser. Kontrakter med ESA giver gode muligheder for at tjene meget mere end Danmarks bidrag tilbage til landet. Ifølge en opgørelse lavet af firmaet Rambøll for Uddannelses- og Forskningsministeriet i 2008, giver hver krone investeret i rumforskning i gennemsnit 4,50 kroner igen til virksomheden.

### Rumforskningsnationen Danmark

Den 14. marts 2021 trængte Delphini-1 så langt ned i Jordens atmosfære, at studentsatellitten fra Aarhus Universitet brændte op. Det skete efter lige godt og vel 2



ESA-astronaut Andreas Mogensen på Den Internationale Rumstation i 2015. Foto: ESA/NASA.

år i rummet, hvor den 10 x 10 x 10 cm store CubeSat har haft kæmpesucces som træningsobjekt for studerende og medarbejdere. På Aalborg Universitet har man bygget og fået opsendt flere satellitter, og på DTU-Space har man i flere år projekteret og bygget forsknings- og styringsudstyr til brug i rummet, og både studerende og forskere har deltaget i en lang række rumforskningsprojekter. Og data fra forskningsudstyr i rummet hentes i stor udstrækning ned til forskergrupper på vore universiteter og til virksomheder, som bruger disse data i deres rådgivning og produktanvendelser.

Det er bare nogle få eksempler på, hvad der foregår af rumaktiviteter i den danske forskningsverden, så det er ingen overdrivelse at snakke om Danmark som en rumforskningsnation. I kommende numre af *Aktuel Naturvidenskab* vil du kunne læse mere om nogle af disse aktiviteter. ■

Yderligere information:  
BlivAstronaut.dk  
<https://jobs.esa.int>



Rubin Observatory  
under opførelse på  
toppen af Cerro Pachón,  
Chile. Foto: Rubin Obs/  
NSF/AURA

# UNIVERSET HAR VOKSEVÆRK



Både universet og vores viden om det vokser hele tiden. Gennem astrofysiske observationer og teoretiske landvindinger har vi efterhånden fået en god forståelse af vores dynamiske univers og dets historie. Men der er stadig meget, vi ikke forstår.

Af Henrik Bendix,  
videnskabsjournalist.  
bendix@vidmere.dk



**Om forskeren**  
Steen Hannestad er professor i teoretisk astrofysik ved Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. Han forsker i Big Bang teorien, og specielt i sammenhængen mellem kosmologi og partikelfysik.  
steen@phys.au.dk

**P**å et enkelt århundrede har et helt univers åbenbart sig for os. I dag ved vi, at Mælkevejen blot er én galakse blandt utallige i et univers, der udvider sig stadig hurtigere. Vi kan med stor sikkerhed sige, at universet var uhyre varmt og tæt for cirka 13,8 milliarder år siden, og at det har udvidet sig og kølet af lige siden. Alt sammen noget, videnskaben ikke havde begreb om for bare 100 år siden.

Nu kan vi skrive universets historie ganske detaljeret. Fra at være en ufattelig varm suppe af elementarpartikler har universet udviklet sig til det, vi observerer i dag – komplet med myriader af stjerner, mange af dem omkredset af planeter, og endda med de strukturer af enorm kompleksitet, vi kalder liv.

På den største skala har universet også strukturer. Tyngdekraften binder galakser sammen i hobe, som igen tilhører superhobe, der trækker gigantiske tråde igennem universet. Som et kosmisk edderkoppespind i tre dimensioner, i bund og grund bygget af stoffets mindstedele og de naturkræfter, der virker imellem dem.

Netop samspillet mellem universets storstruktur og naturens mindste byggesten har sat kursen for professor Steen Hannestad fra Aarhus Universitet:

»Mit interesseområde har altid været det, man kalder astropartikelfysik. Det handler om at bruge observationer af astronomisk eller kosmologisk natur til at forstå elementarpartiklernes verden,«

fortæller han. »Jeg bruger de store skalaer til at forstå de små – og omvendt.«

Og der er nok at forske i, for selv om forståelsen af universet og dets udvikling har udviklet sig med stormskridt siden 1920'erne, hvor kosmologi som videnskab så sin begyndelse, er der stadig store huller i vores viden. Dengang som nu retter vi teleskoper mod himlen for at blive klogere, hjulpet på vej af teoretiske landvindinger.

## Mælkevejen var hele universet

Før 1920'erne var astronomerne ret overbeviste om, at Mælkevejen var hele universet. Der var ingen observationer, der viste andet. De hældte også mest til et evigt og uforanderligt univers – det virker mest oplagt, at universet altid har



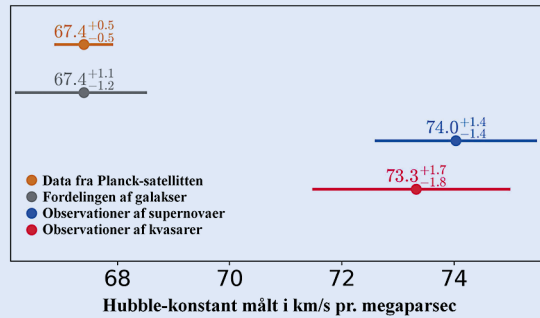
## Hubble-konstanten driller

I et univers med voksevæk får galakserne hele tiden mere plads at boltre sig på. I takt med, at selve rummet imellem dem udvider sig, øges afstanden mellem galakserne. Men præcis hvor hurtigt, galakserne fjerner sig fra hinanden, er genstand for en videnskabelig diskussion. Forskellige målemetoder giver nemlig forskellige resultater.

Universets udvidelsehastighed kan måles med Hubble-konstanten, som har enheden km/s pr. megaparsec (Mpc). Har Hubble-konstanten en værdi på 70 (km/s)/Mpc, betyder det, at hvis der er en megaparsec (godt  $3 \cdot 10^{19}$  km) mellem to galakser, vil de fjerne sig fra hinanden med en hastighed på 70 km/s på grund af universets udvidelse.

Når astronomerne måler afstanden til og hastigheden af supernovaer – ekstremt lysstærke eksploderende stjerner – får de en Hubble-konstant på cirka 74 (km/s)/Mpc. Tilsvarende målinger af andre fjerne himmellegemer giver nogenlunde samme resultat. Men når Hubble-konstanten findes ved at analysere den kosmiske baggrundsstråling eller de mønstre i fordelingen af galakser, der skyldes udbredelsen af lydbølger i det tidlige univers (baryoniske akustiske oscillationer), fås en noget lavere værdi på cirka 67,4 (km/s)/Mpc.

Målinger af den samme værdi bør ikke give forskellige resultater. Noget er galt, men hvad? Den mest sand-



synlige forklaring på afvigelsen, der i astronomikredse kaldes "The Hubble Tension", er nok, at astronomerne måler forkert. Det er notorisk svært at bedømme kosmiske afstande, og der kan have indsneget sig fejl i afstandsmålingerne. En langt mere spændende forklaring er, at universet ikke opfører sig, som vi troede – at den kosmologiske standardmodel ikke er fyldestgørende. Måske er den mørke energi ikke konstant, og måske var der hidtil ukendte kræfter eller partikler på spil tidligt i universets historie.

Nye observationer vil forhåbentlig afgøre sagen. Data fra rumteleskopet Gaia vil give mere pålidelige afstandsmålinger, og specielt teleskoperne Euclid og Rubin Observatory vil gøre os meget klogere på det mørke univers. Så vil det vise sig, om der er brug for ny fysik for at forklare universets udvidelse.

været der, og at det altid har set ud, som det gør nu, præcis som Newton havde ment.

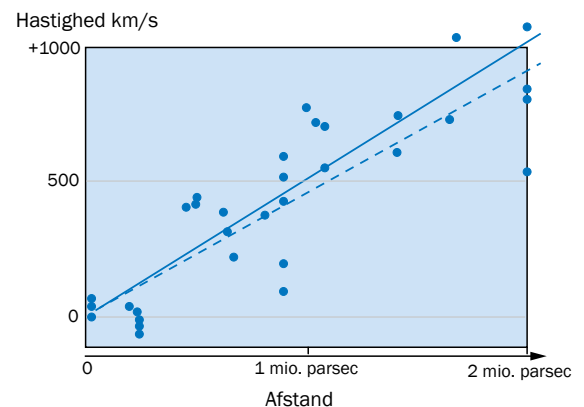
I 1917 brugte Albert Einstein sin generelle relativitetsteori på hele universet, men ligningerne passede dårligt med et statisk univers. Han måtte forsyne dem med en ekstra størrelse – den kosmologiske konstant – for at få teorien til at passe med et stabilt univers, der ikke kollapsede under sin egen masse.

Da den russiske fysiker og matematiker Alexander Friedmann regnede videre på Einsteins ligninger i 1922, fandt han kosmologiske løsninger, som pegede på et univers, der udvider sig. Og snart skulle den idé blive bakket op af astronomiske observationer.

Med nye, store teleskoper, der blev bygget i USA omkring århundredskiftet, lykkedes det ikke blot astronomerne at måle afstanden til "tåger", som viste sig at være selvstændige galakser langt fra Mælkevejen, de kunne også bedømme galaksernes hastigheder mod os eller væk fra os.

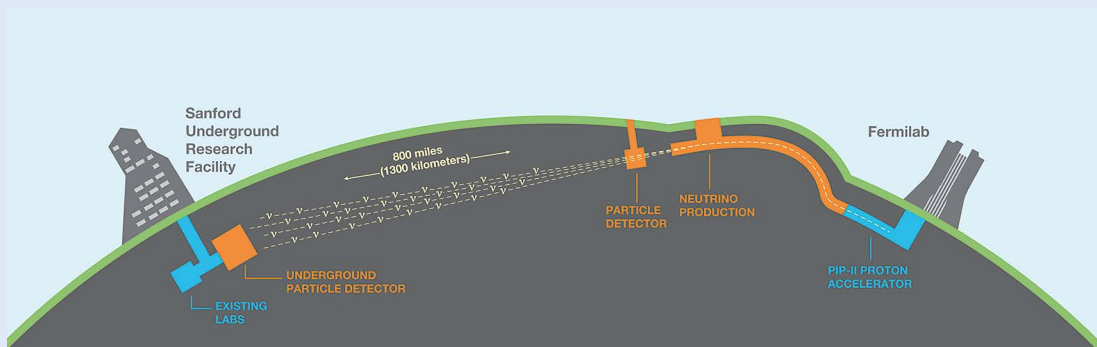
I 1929 kunne den amerikanske astronom Edwin Hubble dokumentere en sammenhæng mellem afstanden til galakserne og deres fart væk fra os – en sammenhæng, der bedst kendes som Hubbles lov. Det rette navn er nu Hubble-Lemaître lov, for den belgiske præst, fysiker og astronom George Lemaître var også på sporet af sammenhængen, endda et par år før Hubble.

Med sit kendskab til Einsteins



Den amerikanske astronom Edwin Hubble fandt i 1929, at alle galakser bevæger sig væk fra Jorden, og at der er en lineær sammenhæng mellem deres hastighed og afstand.

relativitetsteori indså Lemaître, at observationerne ikke skulle forstås sådan, at galakser fjerner sig fra andre galakser i et allerede eksisterende tomrum. I stedet viser de, at hele universet udvider sig. I 1931



Illustrationen viser, hvordan DUNE-eksperimentet skal producere neutrinoer ved Fermilabs acceleratore i nærheden af Chicago, hvorefter neutrinoerne rejser 1300 km gennem jorden til Sanford Underground Research Facility, som er placeret i den gamle Homestake guldmine i South Dakota. Illustration: Fermilab.

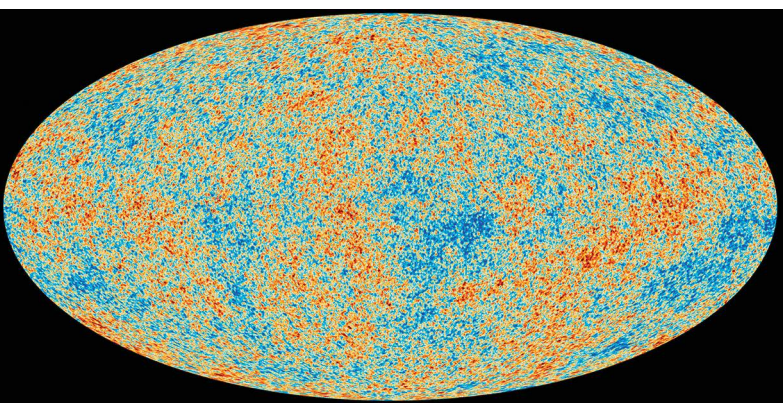
## Hvorfor er der mere stof end antistof?

Universet rummer en mangfoldighed af stjerner og planeter, alt sammen bestående af stof, som vi kender det, bygget op af elementarpartikler som kvarker og elektroner. Og det er faktisk lidt af en gåde. Til enhver partikel hører nemlig en antipartikel med den samme masse, men modsat ladning. Ganske tidligt i universets historie må der være dannet lige meget stof og antistof, men nu lever vi i et univers, der er fyldt med stof og kun byder på uhyre lidt antistof fra visse former for radioaktive henfald.

Når en partikel møder en antipartikel, forsvinder begge dele, og resultatet er energi i form af stråling. Så egentlig burde alle partikler og antipartikler være forsvundet igen, når der nu var lige mange af dem fra starten. Overskuddet af stof frem for antistof kræver en forklaring, og den prøver teoretiske astropartikelfysikere som Steen Hannestad at finde frem til – godt hjulpet af resultater fra eksperimenter.

Fysikerne har en mistanke om, at stoffets sejr over antistoffet skal tilskrives henfaldet af nogle ekstremt tunge, neutrinolignende partikler i det meget tidlige univers. Disse henfald kan have resulteret i flere partikler end antipartikler. Teorien kan få opbakning fra eksperimenter, der er designet til at måle, om der er forskel på neutrinoer og antineutrinoer. Hvis det er tilfældet, er fysikerne på rette spor.

Neutrinoer er imidlertid svære at måle på, idet de kun vekselvirker svagt med andre partikler. Derfor skal der ekstremt store detektorer til. I Japan vil forskerne forsøge at fange neutrinoer og antineutrinoer i Hyper-Kamiokande, en 60 meter høj vandtank fyldt med 258.000 tons vand, mens amerikanerne er ved at bygge detektoren DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment) med 70.000 tons flydende argon som mål for de spøgelsesagtige elementarpartikler. Først om 6-7 år vil eksperimenterne være klar til at levere data, så forskerne skal væbne sig med tålmodighed.



Illustrationen viser temperaturvariationer i den kosmiske baggrundsstråling målt af ESA's Planck-satellit. Disse små temperaturforskelle repræsenterer forskellige tætheder i Universets barndom, som er afgørende for at forstå den fordeling af stof, man finder i Universet i dag. Billedet er baseret på de sidste data fra missionen, publiceret i juli 2018. Illustration: ESA/Planck Collaboration

drog han den konklusion, at universet engang havde været ganske lille – et uratom eller et kosmisk æg, som han beskrev det. Lemaître blev overbevist om, at både tid og rum har en begyndelse.

### Big bang-teorien får opbakning

Her var startskuddet for den teori, der senere blev kendt som big bang-teorien. Hvor Einstein i starten var tvivlende over for ideen om et univers med voksevækst, blev han hurtigt omvendt af observationerne og kaldte angiveligt indførslen af en kosmologisk konstant for sin største fejltagelse. Det tog dog årtier, før teorien om, at universet engang var uhyre varmt og tæt, blev alment accepteret, fortæller Steen Hannestad:

»Der var en lang mellemfase, hvor forskerne ikke rigtig vidste, hvor de skulle placere kosmologi. Det var ikke rigtig fysik og heller ikke rigtig astronomi – det var lidt esoterisk, og de var meget usikre på, om det i virkeligheden gav mening at anvende de gængse fysiske teorier på universet som helhed.«



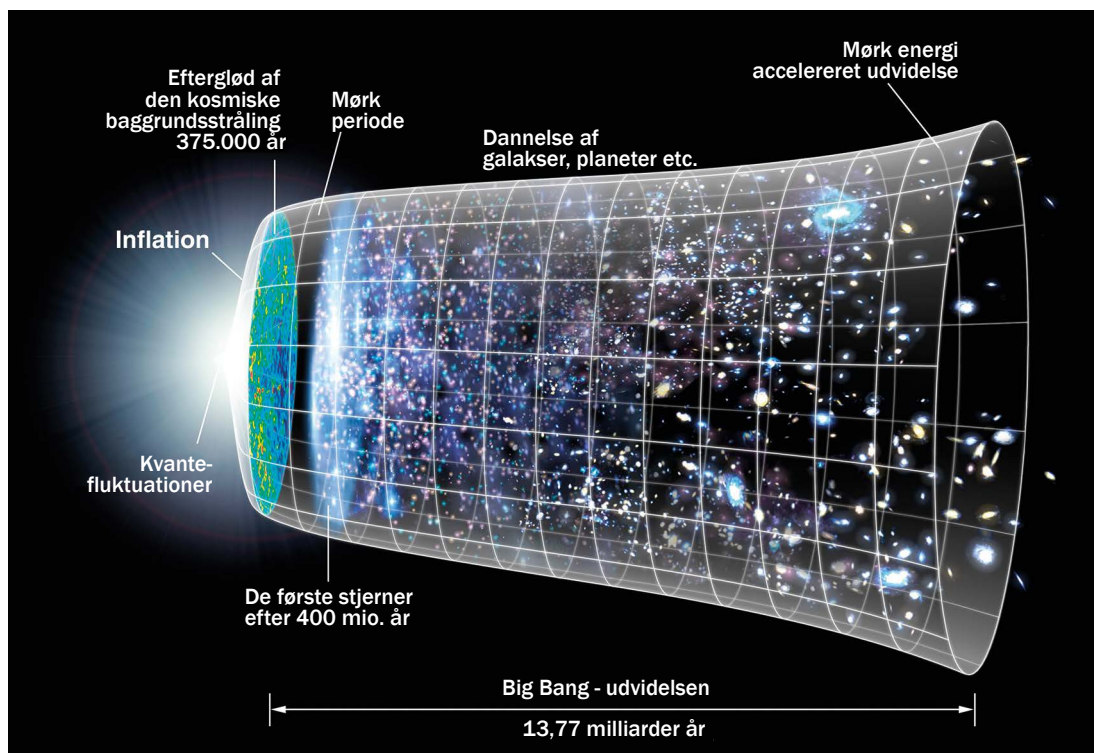


Illustration af Universets udvikling fra Big Bang yderst til venstre og til i dag. Diameteren på den tragtformede struktur angiver universets "størrelse" til forskellige tidspunkter. Illustration: NASA/WMAP Science Team.

»Udover Hubbles målinger var der ikke rigtig nogle observationer, der kunne understøtte kosmologiske teorier, og det var uklart, hvordan man skulle gribe problemet an. Men med den stadig bedre forståelse af kvantemekanik og kernefysik i 1940'erne kom også en gryende erkendelse af, at de lette grundstoffer formentlig var dannet i det tidlige, varme univers.«

Big bang-teorien kunne forklare fordelingen af grundstoffer i universet, men først i 1964 kom det bevis, der fik de sidste skeptikere med på big bang-vognen. Her blev den kosmiske baggrundsstråling – eftergløden fra det varme univers fra dengang, det kun var cirka 380.000 år gammelt – nemlig opdaget af fysikerne Arno Penzias og Robert Wilson.

Baggrundsstrålingen blev frigivet, da temperaturen i det voksende univers faldt til under 3000 kelvin. Så kunne brint- og heliumkerner pludselig danne neutrale atomer med elektroner, og universet gik fra at være et ugennemsigtigt plasma til at blive gennemsigtigt. Dengang

var strålingen fra det varme univers i det infrarøde område, men i takt med universets udvidelse er fotonernes bølgelængde blevet 1.100 gange længere, så de nu kan findes i mikrobølgeområdet af det elektromagnetiske spektrum. Man kan også forstå det på den måde, at universet er blevet stadig koldere i takt med, at det har udvidet sig. Fra at være ca. 3000 K efter 380.000 år, er det nu 2,725 K, altså knap tre grader over det absolutte nulpunkt.

### Det meste stof er mørkt

Efter gennembruddet i 1960'erne har ingen seriøse fysikere været i tvivl om, at universet engang var meget varmt og tæt, og at det har udvidet sig lige siden. Men det er absolut ikke ensbetydende med, at vi nu har den fulde forståelse af universet og dets historie. Faktisk har vi ikke engang tjek på, hvilke former for stof universet rummer.

Vi ved nu, at langt størstedelen af stoffet i universet opfører sig anderledes end det, vi kender og kan se omkring os og ude i verdensrummet – det stof, som består af de kendte elementarpartikler, og som

vi efterhånden har ganske godt styr på. I mangel af bedre kalder vi det ukendte, usynlige stof for mørkt stof. Det kan ikke observeres direkte, men vi se, hvordan det påvirker det almindelige, synlige stof gennem tyngdekraften.

»Det er da overraskende, at der er meget mere stof i universet end det, vi kan se. Allerede tilbage i 1930'erne var der indikationer på mørkt stof, men i lang tid blev det blot betragtet som et observationelt kuriosum,« siger Steen Hannestad og fortsætter:

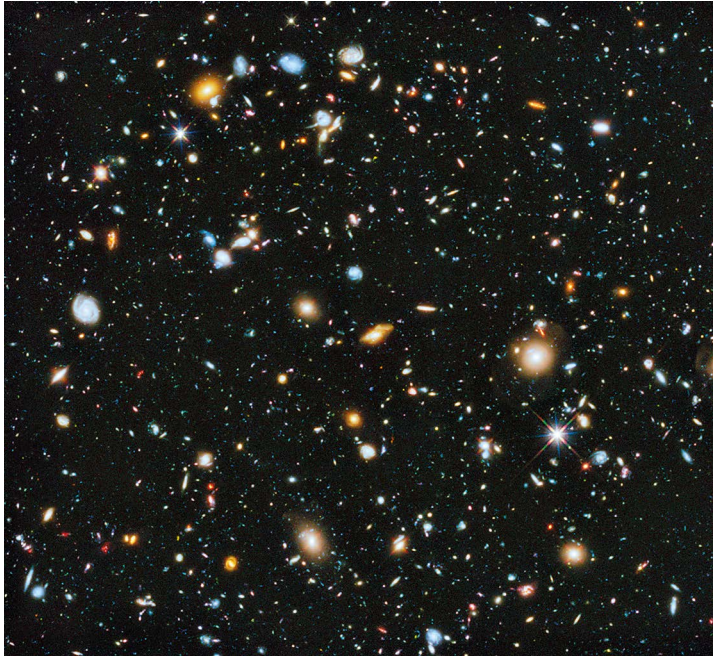
»Op gennem 1970'erne blev eksistensen af mørkt stof bekræftet gennem den amerikanske astronom Vera Rubins observationer af galaksers rotationskurver. Og i 1980'erne blev det klart, at mørkt stof faktisk er nødvendigt for at få dannet et univers som det, vi kan se i dag.«

Vera Rubin fandt ud af, at stjernerne i galaksernes yderste dele kredser meget hurtigere rundt, end de ville gøre, hvis galakserne kun rummer det stof, man kan få øje på.

Denne artikel bygger på foredraget Big Bang og det usynlige, som Steen Hannestad skulle have holdt i foredragsserien Offentlige foredrag i Naturvidenskab i foråret 2021, men som blev aflyst på grund af corona-restriktionerne. Foredraget vil blive afholdt på et senere tidspunkt. Hold øje med ofn.au.dk, når det igen er tilladt at holde foredragsarrangementer.

På Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside vil der også komme undervisningsmateriale, der knytter an til emnet for foredraget og artiklen..

Artikel og undervisningsmateriale er lavet som led i projektet *Brobygning på første række*, finansieret af Novo Nordisk Fonden.



Et kig ud i det fjerne univers med Hubble Ultra-Deep Field. Billedet viser nogle af de fjerneste galakser, det er muligt at se med nutidens teknologi. Galakserne er så langt væk, at det svarer til, at vi ser næsten 14 milliarder år tilbage i tiden. Billedudsnittet har en størrelse svarende til, hvad 1/79 af en fuldmåne fylder.

Illustration: NASA, ESA, H. Teplitz and M. Rafelski (IPAC/Caltech), A. Koekemoer (STScI), R. Windhorst (Arizona State University), and Z. Levay (STScI)

Det kan forklares med, at galaksernes synlige stof befinder sig midt i store haloer af mørkt stof, som står for langt størstedelen af universets masse.

Siden er der kommet flere beviser for mørkt stof til, men det er endnu ikke lykkedes fysikerne at finde ud af, hvad det mørke stof egentlig består af. De ved bare, at det stort set kun påvirker synligt stof gennem sin masse. Det mørke stof kan være tunge elementarpartikler, der går under betegnelsen WIMPs (weakly interacting massive particles), men fysikerne udforsker også andre muligheder – både på det teoretiske plan og gennem eksperimenter, hvor mørkt stof forsøges indfanget.

### Mørk energi er en joker

Kosmologien var ikke på plads med opdagelsen af mørkt stof. I 1990'erne blev det stadig mere klart, at universet har brug for endnu en komponent, hvis de astronomiske observationer skulle passe. Der manglede noget, der kan få

universet til at udvide sig stadig hurtigere – en form for energi, der er indbygget i selve tomrummet, og som får det til at puste sig op hurtigere, end det ellers ville gøre. Mørk energi.

»Uden mørk energi ville vi have meget mere struktur i universet i dag – flere galakser, større galakser og større galaksehobe. Desuden ville universet være yngre, måske omkring ni milliarder år, og det passede ikke med den estimerede alder af visse kuglehobe, for eksempel. Så der var meget, der skurrede,« fortæller Steen Hannestad.

I 1998 viste målinger af supernovener netop, at universet ikke bare udvider sig, men at udvidelsen accelererer. Med disse observationer, der i 2011 kastede en Nobelpris af sig, faldt brikkerne på plads, så vi i dag har en kosmologisk standardmodel med et univers, hvis udvikling først og fremmest har været dikteret af mørk energi og mørkt stof. Universet har hele tiden udvidet sig, men først blev udvidel-

sen bremset af mørkt stof, der med sin tyngde forsøgte at trække det sammen igen, og senere overtog den mørke energi og fik udvidelsen til at accelerere.

Selv om vi er blevet meget klogere på universet, er der stadig rigtig meget, vi ikke forstår. For eksempel ved vi ikke helt, hvor hurtigt universet udvider sig. Når man måler den såkaldte Hubble-konstant, der netop er et mål for universets udvidelsehastighed, får man forskellige resultater, alt efter hvordan målingen foretages. Så der skal flere observationer til, siger Steen Hannestad:

»Det mest interessante i denne sammenhæng er meget store surveys – astronomiske kortlægninger af universets strukturer over milliarder af lysår – der bliver foretaget i de kommende år. Det arbejder vi også rigtig meget med på Aarhus Universitet. Specifikt forventer vi os meget af det europæiske rumteleskop Euclid, der opsendes i sidste halvdel af 2022, og også af det jordbaserede modstykke Rubin Observatory, der er under opførelse i Chile.«

»Med data fra Euclid og Rubin Observatory får vi en meget bedre forståelse for, hvordan universet først decelererede, idet det var domineret af det mørke stof, og derefter accelererede i takt med, at den mørke energi overtager. Og den detaljerede udvidelsehistorik er rigtig vigtig, hvis vi vil forstå, om den mørke energi udvikler sig i tid.«

Flere nye superteleskoper er på vej, herunder rumteleskopet James Webb, der efter planen opsendes 31. oktober i år, og det enorme Extremely Large Telescope med et spejl på 39 meter, der vil stå færdig på en bjergtop i Chile i 2025. I takt med, at teleskoperne indsamler data, kan astrofysikere som Steen Hannestad udvikle nye teorier for universet, dets indhold og dets udvikling, så vi kommer tættere på at forstå, hvordan det hele hænger sammen. ■

#### Videre læsning:

Steen Hannestad: *Den kosmiske baggrundsstråling*. Aktuel Naturvidenskab nr. 6/2000

Michael Linden Vørnle: *Big bang set i nyt lys*. Aktuel Naturvidenskab nr. 2/2013.

Robert Feidenhans'l, Pavel Naselsky og Anne Mette Frejsel: *Universets skabelse set fra Indlandsisen*. Aktuel Naturvidenskab nr. 5/2015



# LÆS INGENIØR- VIDENSKAB

SØG INDEN  
**5. JULI**

**BRÆNDER DU FOR BÆREDYGTIGHED, OG HAR DU AMBITIONER PÅ KLIMAMÅLENE VEGNE? OG VIL DU VÆRE MED TIL AT LØSE DE SAMFUNDSMÆSSIGE UDFORDRINGER, SOM VERDEN STÅR OVERFOR?**

Så er vores nye bacheloruddannelse i Ingeniørvidenskab det helt rigtige valg for dig. Du opnår et bredt ingeniørmæssigt fundament og lærer at arbejde på tværs af faggrænser, hvorefter du selv vælger en teknisk specialisering, som du synes er spændende.

**LÆS MERE PÅ [ENERGI.AAU.DK](http://ENERGI.AAU.DK)**



**AALBORG  
UNIVERSITET**





Fronten af Nordaustfonna, Svalbard. Nordaustfonna er med sine 8.400 km<sup>2</sup> den største af de tilbageværende iskapper på Svalbard og en af de få med en front i direkte kontakt med havet. Den lodrette frontvæg er cirka 20 m høj. Foto: Tine Rasmussen.

# ISKOLLAPS VED ISTIDENS SLUTNING LIGNER NUTIDENS

**Da isen smeltede bort fra kontinentalsoklen i Barentshavet syd for Svalbard ved afslutningen af sidste istid, foregik det i markante ryk under kraftig opvarmning, viser ny forskning. Det ligner det, vi ser omkring Arktis og Antarktis i dag.**

Om forfatterne



Tine L. Rasmussen er professor ved CAGE, Centre for Arctic Gas Hydrate, Environment and Climate, Institutt for geovitenskap, UiT Norges Arktiske Universitet, Tromsø, Norge.  
tine.rasmussen@uit.no



Erik Thomsen er lektor emeritus ved Institut for Geoscience, Aarhus Universitet.  
erik.thomsen@geo.au.dk

**I** dag skrumper shelf-isen omkring både Antarktis og Grønland med stadig større hastighed. Ofte brækker store bidder af på forbløffende kort tid. I tre omgange mellem 1995 og 2017 kollapsede det meste af Larsen-is-hylden ved Antarktis, og næsten 13.000 km<sup>2</sup> is forsvandt. Den hastige tilbagetrækning af isen omkring Antarktis skyldes mange steder, at det stadig varmere havvand trænger ind under isen, og smelter den nedefra. Vores undersøgelser fra kontinentalsoklen syd for Svalbard viser, at der er forbløffende mange ligheder mellem det, der sker ved Antarktis i dag, og det, der skete i Nordatlanten for mellem 15.000 og 10.000 år siden ved slutningen af istiden, da jordens temperaturer steg med stor hastighed. Dengang forsvandt gigantiske iskapper på den nordlige halvkugle i løbet af få tusinde år.

## Rykvis afsmeltning

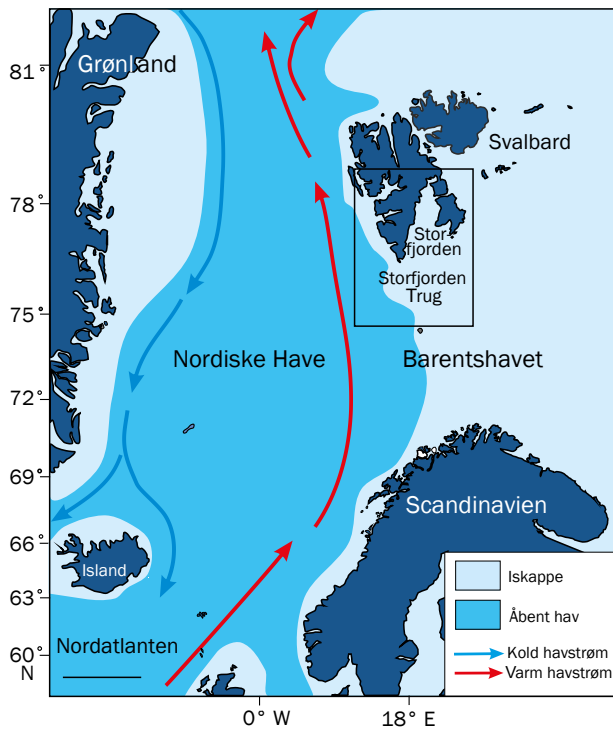
For 22.000 år siden var Skandinavien dækket af en enorm, kilometer-tykk iskappe. Nordpå fortsatte isen ud over Barentshavet, hvor den forenede sig med en tilsvarende iskappe over Svalbard. Nordamerika og Sibirien var sæde for lignende eller endnu større iskapper. For cirka 10.000 år siden var alle disse iskapper forsvundet med undtagelse af indlandsisen på Grønland og mindre isskjolde på Svalbard og Island. Tilbagerykningen var dog rykvis og ujævn. Talrige undersøgelser har vist, at en stor del af afsmeltningen foregik i to korte faser. Den første indtraf for 14.700 år siden ved begyndelsen af den geologiske varmeperiode, vi kalder Bølling, og den varede cirka 500 år. Den anden afsmeltningsskifte udspillede sig for cirka 11.600 år siden i begyndelsen af Holocæn, den nuværende mellemistid. Ind

imellem disse særlig varme perioder var afsmeltningsskiftene mere beskedne, og nogle gange voksede iskapperne ligefrem. Smelttevandet fra isen ender i havet, og derfor kan afsmeltningshastigheden måles i den hastighed, hvormed havniveauet stiger. Fra istidens maksimum for 22.000 år siden og indtil for 7.000 år siden steg havniveauet cirka 120 meter. Siden har det været nogenlunde stabilt, men hvis den resterende indlandsis på Grønland og Antarktis smelter, vil havet stige yderligere cirka 65 meter.

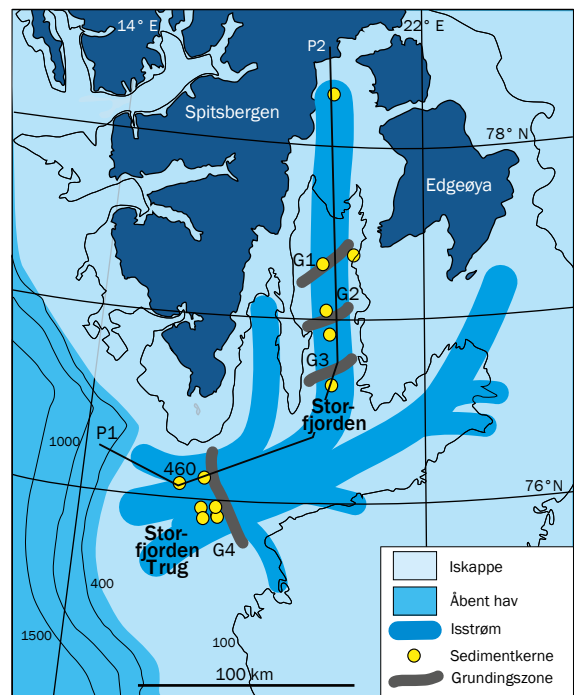
## Ishylden mod Norskehavet

Isens afsmeltning på land op igennem Danmark, Sverige og Norge er forholdsvis velbelyst. Derimod har man hidtil vidst meget lidt om tilbagerykningen langs med Norskehavet og Barentshavet, hvor isranden lå på kontinentalsoklen, og isen var i direkte kontakt med





Kort med placeringen af undersøgelsesområdet: For 22.000 år siden var den skandinaviske iskappe tværs over Barentshavet forbundet med iskappen over Svalbard. Isranden fulgte nogenlunde kontinentalsoklens kant og var i direkte kontakt med havet. Storfjorden er navnet på den sydvestvendte bugtlignende indskæring i Svalbard mellem Spitzbergen og Spitzbergen Banke. Storfjorden Trug er navnet på Storfjordens forlængelse ud over kontinentalsoklen. Isens udstrækning baseret på Hughes o.a. (2016).



Kort over Storfjord-området for 22.000 år siden før iskappen begyndte at smelte. Igennem Storfjorden løber tre kraftige isstrømme. Det er områder, hvor indlandsisens bevægelse mod havet går særlig hurtigt. I Storfjorden er fundet fire såkaldte grundingszoner (G1-G4). Disse består af sedimentophobninger dannet i en periode, hvor isen under sin tilbagerykning, har stået stille i længere tid. De undersøgte sedimentkerner er vist med gule prikker. Den vigtige kerne 460 ligger nærmest kanten på kontinentalsoklen. P1-P2 er en profilinje.

Kort modificeret efter Rasmussen & Thomsen, 2021.

havet. Forholdene her har på mange måder lignet forholdene omkring ishylderne langs Antarktis' kyst i dag.

Vores undersøgelsesområde er Storfjorden og Storfjorden Trug, der som en stor bugt strækker sig sydvest fra Svalbard helt ud til kanten af kontinentalsoklen. Vores første mål var at fastslå, med hvilken hastighed indlandsisen trak sig tilbage fra Storfjorden – fra den for 22.000 år siden stod ved kanten af kontinentalsoklen til i dag, hvor næsten al is er forsvundet fra kysten. Det andet mål var at undersøge, om der er en tæt sammenhæng mellem isens bevægelsesmønstre og den globale klimaudvikling i perioden. Flere nyere studier har nemlig sat spørgsmålstegn ved dette punkt. Endelig ønskede vi at sammenligne isens tilbagetrækning i Storfjorden efter istiden med de tilbagetræk-

ningsmønstre, vi ser i nutiden som følge af den globale opvarmning.

### Kunsten at studere bevægelserne af forsvunden is

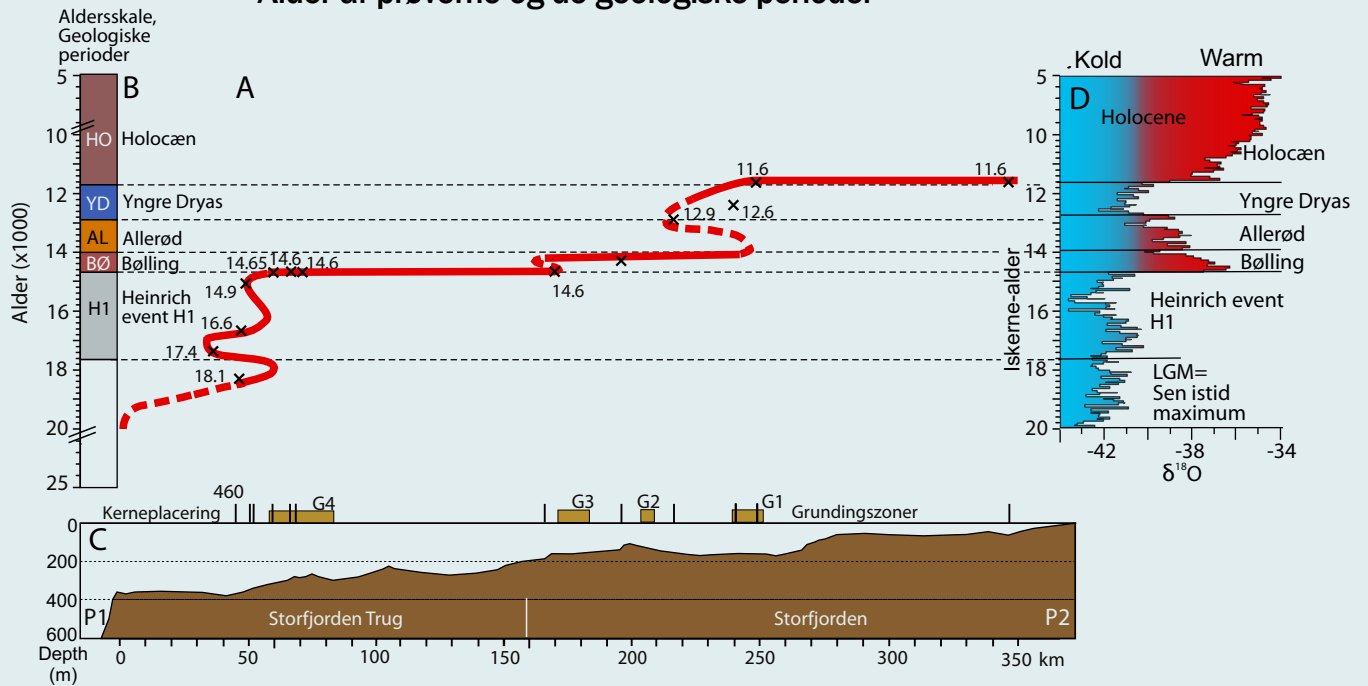
Under istiden var Storfjorden og det foranliggende trug fyldt med tre strømme af gletsjeris. Isen bevægede sig fra Svalbards indre hen over fjordbunden, hvor den afsatte et blandet sediment af ler, sand, grus og store sten. Denne type aflejring kaldes en till, og den ligner det sediment, der udgør hovedparten af istidens morænelandskab på land. Lag af till på kontinentalsoklen vidner om, at indlandsisen på dannelsesstedspunktet var i direkte kontakt med havbunden.

I nutiden er Storfjorden isfri om sommeren og dækket af havis om vinteren. På bunden aflejres der fint mudder året rundt. Muddret består af en blanding ler og silt, der

føres ud fra land og ganske langsomt afsættes på havbunden som sedimentlag. Muddret indeholder som regel et rigt marint dyreliv, og gammelt mudder er næsten altid fyldt med talrige skaller af store og små marine organismer samt dropsten fra passerende isbjerge.

Den sikreste måde at fastlægge, hvornår isens forsvandt fra en region, er at bestemme alderen på de ældste normale marine sedimenter i området. Det kan gøres ved hjælp af lange sedimentkerner, som udtages af havbundens aflejringer. Kernerne må i dette tilfælde trænge igennem de marine lag og ned i den underliggende till. Vi må her kræve, at overgangen fra de marine til de ikke-marine lag er kontinuert. Kernerne må desuden indeholde daterbart materiale og rigeligt med fossiler. Fossilerne er den vigtigste kilde til økologisk information.

## Alder af prøverne og de geologiske perioder



(A): Plot af alderen (angivet i tusind år) på de ældste marine sedimenter i de undersøgte kerner. Kurven viser således, hvornår havet nåede frem til de forskellige områder af Storfjorden.

(C): Dybdeprofil af Storfjorden og Storfjorden Trug med angivelse af grundingszoner og kernerens placering. Profilet forløb er vist på kortet over Svalbard og markeret P1-P2.

(B): Aldersskala med angivelse af geologiske perioder. Aldrene er justeret med et nyt program, der kalibrerer kulstof-14-aldre til iskernealdre. Aldrene afviger derfor lidt fra de publicerede aldre, der er justeret efter et ældre kalibreringsprogram.

(D): Resultaterne fra Storfjorden er korreleret med iltisotopkurven fra den grønlandske NGRIP iskerne (Svensson o.a., 2008). Lave værdier reflekterer lave lufttemperaturer over Grønland. Høje værdier reflekterer højere temperaturer.

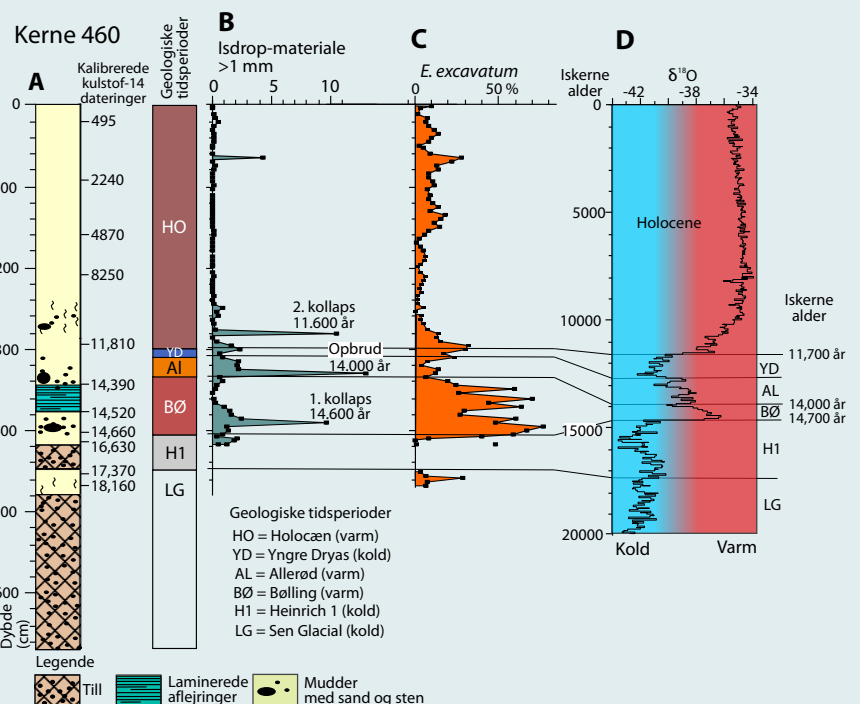
## En vigtig kerneprove

(A): Aflejringsstype, alder og geologiske tidsperioder for kerne 460. Kerne 460 ligger yderst i Storfjordområdet og var tidligt isfri. Smeltende isbjerger produceret længere inde i fjorden har måttet passere området. De har efterladt isdropmateriale på havbunden.

(B): Variation i mængden af isdropmateriale, der stammer fra smeltende isbjerger. Bemærk tre markante stigninger dateret til 14.600, 14.000 og 11.600 år.

(C): Variation i procenten af den bundlevende foraminifer *Elphidium excavatum*. I de Nordiske have er denne art knyttet til koldt vand og særlig hyppig tæt ved isfronter.

(D): Korrelation til iltisotopkurven for grønlandske NGRIP-iskerne (for forklaring: se i figuren ovenfor).





Sådanne kerner er ikke nemme at skaffe, da isen bevægelse hen over havbunden giver erosion, og derfor er der ofte huller i sedimentrækkefølgen.

Det lykkedes os at skaffe 12 kerner, der opfyldte de opstillede kriterier. De er taget fra kontinentalsoklen til fjordens inderste forgreninger. Kernerne, der er mellem 3 og 10 m lange, er nøje undersøgt for en lang række biologiske, geologiske og geokemiske parametre. Halvfjerds prøver er aldersbestemt ved hjælp af kulstof-14 metoden.

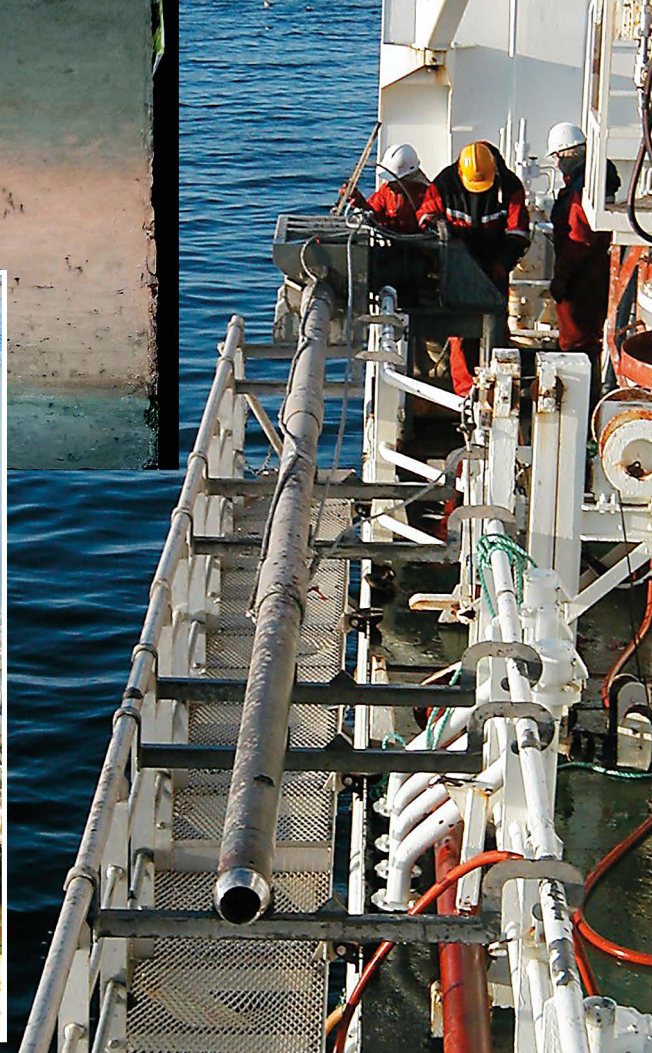
### Isens opbrud i Storfjorden

Aldersdateringerne af prøverne viste, at alderen på de ældste marine lejringer i de tolv undersøgte kerner bliver yngre og yngre indadtil i fjorden, hvilket afspejler havets indtrængning og isen afsmeltning i området. Men det stod også klart, at havets fremtrængning ikke var gradvis, men forløb i spring vekslende mellem hurtig og langsom indtrængning eller ligefrem tilbagerykning. For bedre at forstå udviklingen kan vi sammenholde dette bevægelsesmønster med udviklingen i den kerne, der er taget yderst på kontinentalsoklen (kerne 460) og derfor fra det område, der først blev isfrit.

Nederst i denne kerne veksler finkornede og grove lag, men fra cirka 16.700 år og fremefter er alle lag finkornede og fossilrige, og det er tydeligt at fra dette tidspunkt har isen været langt væk fra stedet. Vand og sedimenter fra Storfjorden har dog måttet passere stedet, og kernens sedimenter vidner derfor om begivenhederne længere inde i fjorden.

Når isen står stille i længere tid ophobes der som regel store mængder af groft materiale på havbunden foran isen. Disse ophobninger kaldes grundingszoner. Seismiske undersøgelser har påvist fire grundingszoner i Storfjorden-systemet. Den ældste af disse, G4, er uden tvivl et resultat af de små frem- og tilbagerykning-

Fotos: Tine Rasmussen, 2002.



Kerneoptager på det norske forskningsskib Helmer Hanssen. Til højre klargøres optageren, der i dette tilfælde er 12 m lang. Bagerst ses blylodderne, der medvirker til at presse kerneoptageren ned i havbunden. Til venstre hænger optageren i sin kran klar til nedsænkning til havbunden, hvor den udløses og ved hjælp af de cirka 2 tons bly presses ned i sedimentet.

Sedimentkernen med en diameter på 10 cm splittes på langs i to halvdele. Øverst ses et cirka 30 cm langt udsnit af en kerne fra Svalbard-området. Overgangen mellem det nederste mørke lag og det lyse lag er aldersbestemt med kulstof-14 metoden til cirka 14.600 år. Det lyse lag repræsenterer således begyndelsen af Bølling-varmeperioden.

ger for mellem 18.000 og 14.600 år siden.

### Første iskollaps (14.600 år)

År 14.600 repræsenterer tydeligvis et vendepunkt i Storfjordområdet historie. Ikke blot er de ældste marine lag i en række borer omkring grundingszone G4 dateret til cirka 14.600, men vi finder samme alder på de ældste marine lag i en boring ved grundingszone G3 125 km længere inde i munden af Storfjorden. De ældste foraminifer-faunaer ved G3 er fuldmarine og typiske for åbne forhold foran en isfront, så der er ikke blot tale om en sporadisk marin indtrængning under isen. Mindst 11.000 km<sup>2</sup> gletsjeris mellem G4 og G3 må være forsvundet på et "geologisk splitsekund".

Denne voldsomme tolkning bekræftes af udviklingen i kerne 460, hvor opbruddet falder sammen med en pludselig og kortvarig forøgelse af mængden af grovkornet isdropmateriale fra passerende isbjerge. Isdropmateriale er grove korn og fragmenterede bjergarter, som isen har samlet op fra havbunden og over land. Det afleveres til havet, efterhånden som isen eller isbjergene smelter. Den pludselige forøgelse viser, at et stort antal smeltende isbjerge meget hurtigt må have passeret stedet. I kerne 460 og i de andre kerner fra grundingszone G4 er isdrop-lagene fulgt af et markant lag med fint lagdelte lerlag stort set uden fossiler dateret til slutningen af Bølling (14.520-14.390 år). Lignende lag med samme alder kendes fra kontinentalsoklen over-

## Afgørende kalkskaller fra foraminiferer

Sedimentkernerne, vi har undersøgt i dette studium, er optaget på forskellige forskningsekspeditioner i årene fra 2002 til 2016. Kernerne er nøje undersøgt for sedimentære aflejringsspor og derefter skåret op i 1 cm tykke skiver. De mere end 1000 prøver er analyseret for en lang række biologiske, geologiske og geokemiske parametre, herunder målinger af ilt- og kulstof-isotoper. Halvfjerds prøver er aldersbestemt ved hjælp af kulstof-14 metoden.

I undersøgelsen har en gruppe af skalbærende mikroskopiske encellede dyr kaldet foraminiferer været helt afgørende. Ofte finder vi flere hundrede foraminiferskaller per gram sediment. Gruppen indeholder talrige arter, hvoraf mange er tilpasset ganske specifikke økologiske forhold. Fossile fauner er derfor nyttige ved tolkning af fortidens miljøer, da vi ved at studere

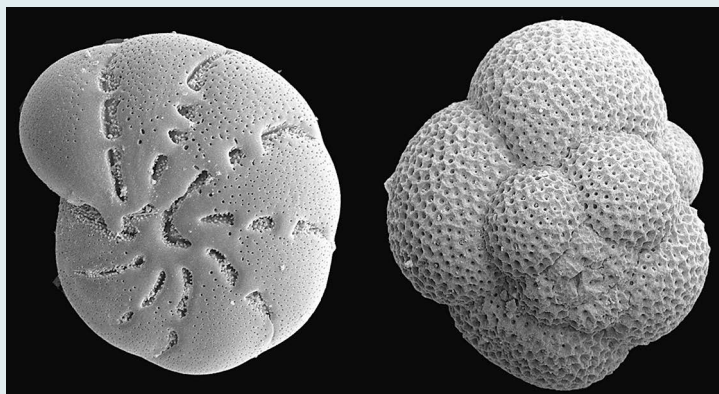


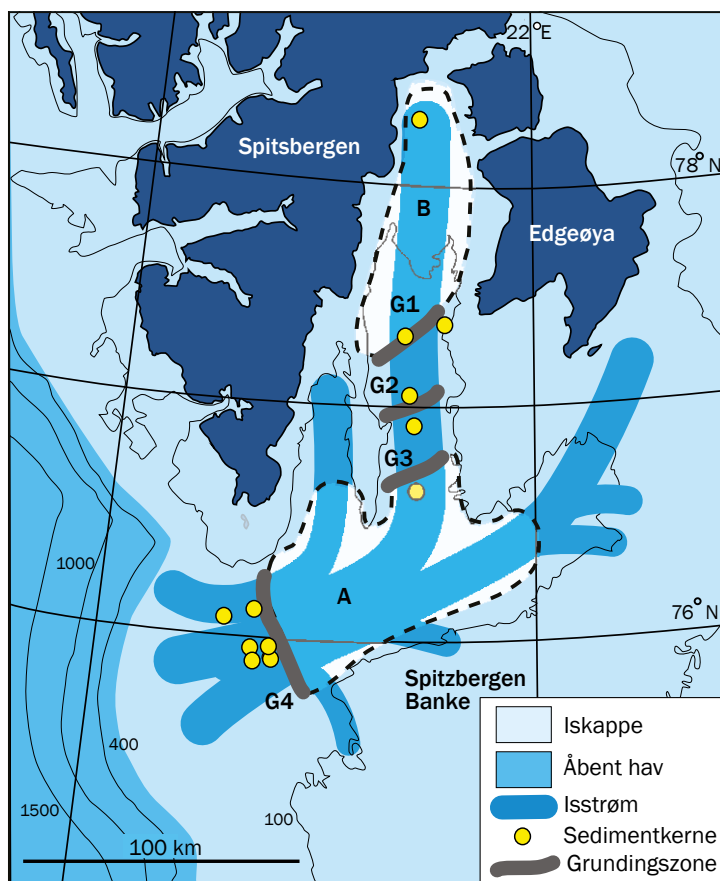
Foto: Erik Thomsen.

Foraminiferer er encellede dyr i slægt med amøber, men med skal. De er uhyre almindelige både ved havbunden og ved havoverfladen. Til venstre ses den bundlevende art *Elphidium excavatum*, der omkring Svalbard er knyttet til koldt vand nær isfronter. Til højre ses *Neogloboquadrina incompta*, der lever ved havoverfladen og er knyttet til varmt vand. Begge foraminiferer er cirka 0,2 mm store.

samfundenes artssammensætning ofte kan få ganske præcise oplysninger om en lang række vigtige miljøparametre som temperatur, saltholdighed, bundstrømsforhold, samt ilt- og føde-forsyning.

Foraminiferer lever både på og i

havbunden og ved havoverfladen, og de kan derfor give oplysninger om både bund og overfladeforhold. Foraminiferskaller består af kalk ( $\text{CaCO}_3$ ), og gruppen er den vigtigste kilde til ilt- og kulstofisotop-analyser samt til kulstof-14 dateringer af havaflejringer.



Kort over Storfjorden og Storfjorden Trug med angivelse af isstrømme og områder med abrupt iskollaps. Område A (cirka 11.000 km<sup>2</sup>) brød sammen for cirka 14.600 år siden. Område B (cirka 4000 km<sup>2</sup>) disintegrerede for cirka 11.600 år siden. Disse begivenheder minder om nutidens kollaps af Larsen-ishylden ved Antarktis.



alt i det nordvestlige Barentshav. De er vidnesbyrd om en periode med kraftig afsmeltning, stor sedimenttilførsel til havet og en artsfattig havbund.

Når vi sammenligner med klimaudviklingen, som denne afspejles i de grønlandske iskerner, kan vi se, at iskollapset i Storfjordområdet falder sammen med den første temperaturstigning efter sidste istid (Bølling). Især den første tredjedel af Bølling var varm, og det globale havniveau steg cirka 18 meter på bare 350 år.

### Andet iskollaps (11.600 år)

I perioden fra cirka 14.500 år og til 11.600 år gik isens tilbagerykning langsommere. Vor viden om denne periode i Storfjorden er dog ringere især på grund af dårlige opbevaringsforhold for kalkskal-lede fossiler. Tilstedeværelsen af en markant top af isdroppet materiale i kerne 460 dateret til cirka 14.000 (begyndelsen af Allerød-varmepæoden) tyder på, at vi også i denne periode har haft et større isopbrud.

Det sidste store iskollaps indtraf ved begyndelsen af Holocæn for cirka 11.600 år siden. Dateringerne af de ældste marine sedimenter i kernerne fra den indre fjord viser, at opbruddet var brat, kortvarigt og omfattende (minimum 4000 km<sup>2</sup>) omend noget mindre end kollapset i Bølling-perioden. Kollapset bekræftes af den abrupte top af isdroppet materiale i kerne 460.

Iskollapsene i begyndelsen af Bølling-tidsperioden for 14.600 år og i begyndelsen af Holocæn for 11.600 år siden falder begge sammen med kraftige og meget bratte temperaturstigninger i de grønlandske iskerner. Der kan derfor ikke være tvivl om, at klimaændringer har været den afgørende faktor for ishyldernes pludselige forsvinden. Det samme må gælde for det noget mindre opbrud i begyndelsen af Allerød-tidsperioden for 14.000 år siden.

### Parallel til nutidens Antarktis

Nedbrydningen af ishylderne og gletsjerne i Storfjorden udviser mange ligheder med disintegrati-

onen af Larsen-ishylden ved Antarktis i nutiden. Denne kollapsede i flere omgange mellem 1995 og 2017, og i alt 10.600 km<sup>2</sup> ishylde forsvandt. De forsvundne dele var flydende, således at varmt vand kunne trænge ind under isen og nedbryde den nedefra.

Vi forestiller os, at noget lignende skete i Storfjordssystemet. Indtrængningen af varmt vand her må dog være sket umiddelbart før, isen brød op, og måske som følge af de kraftige stigninger i det globale havniveau. Disintegrationen i Storfjordens kan have været næsten øjeblikkelig, således som dateringerne antyder. Men dateringsusikkerheden taget i betragtning kan opbruddene også have været længere, måske helt op til 50 eller 100 år. Halvtreds år svarer til en tilbagerykningshastighed på 2,5 km/år for Bølling-overgangen og 2 km/år for Holocæn-overgangen. Disse værdier ligner i høj grad nuværende målte tilbagetrækningshastigheder for Antarktis og Grønland, som ligger fra 0,6 km/år til >2 km/år. ■

### Litteratur

Hogg, A.E., Gudmundsson, G.H., 2017. *Impacts of the Larsen-C ice shelf calving event*. Nature Climate Science 7, 541–542, [www.nature.com/articles/nclimate3359](http://www.nature.com/articles/nclimate3359).

Hughes, A.L.C., Gyllenkretz, R., Lohne, Ø.S., Mangerud, J., Svendsen, J.I. (2016). *The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1*. Boreas 45, 1–45, doi.org/10.1111/bor.12142.

Rasmussen, T.L., Thomson, E. (2021). *Climate and ocean forcing of ice-sheet dynamics along the Svalbard-Barents Sea Ice Sheet during the deglaciation 20,000–10,000 years BP*. Quaternary Science Advances 3, 1–13, doi: 10.1016/j.qsa.2020.100019.

Svensson, A., Andersen, K.K., Bigler, M., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Davies, S.M., et al. (2008). *A 60 000 year Greenland stratigraphic ice core chronology*. Climate of the Past 4(1), 47–57, doi.org/10.5194/cp-4-47-2008.



[sdu.dk/ing](http://sdu.dk/ing) #sduing

## Skal dine elever prøve at være ingeniørstuderende for en dag? – NU ONLINE!

På grund af COVID-19 situationen kan vi for tiden desværre ikke modtage fysiske besøg på vores campusser og ingeniøruddannelser på SDU.

Men det er stadigvæk muligt at møde vores ingeniørstuderende. Dine elever har nu mulighed for at mødes med vores uddannelsesambassadører online, så de kan få svar på deres spørgsmål om vores ingeniøruddannelser og høre om hverdagen som ingeniørstuderende på SDU.

Målet er at give dine elever forudsætningerne for at tage et kvalificeret studievalg. Vores studievejleder står ligeledes til rådighed, hvis dette ønskes.

Dine elever kan booke deres online møde med ingeniørstuderende her: [www.sdu.dk/tek/studerendeforendag](http://www.sdu.dk/tek/studerendeforendag)

Et oversigtsbillede af rodtårnene. Foto: Anne-mette Lyhne-Kjærbye

# MIKROORGANISMER I DYBE JORDLAG

## Forfatterne



Mette Haubjerg Nicolaisen er Lektor i Mikrobiel Økologi ved Københavns Universitet  
meni@plen.ku.dk



Annemette Lynhne-Kjærbye er tidligere ph.d.-studerende på forskningsprojektet Deep Frontier  
annemette\_lk@hotmail.com



Frederik Bak er postdoc i Mikrobiel Økologi ved Københavns Universitet  
f.bak@plen.ku.dk



**Ny forskning giver indsigt i de hidtil udforskede bakterie- og svampesamfund i jorden, der findes i 2-5 meters dybde. De kan blive vigtige spillere i en fremtid med bæredygtig planteproduktion, hvor afgrøder med dybe rødder ses som en del af løsningen.**

**L**andbruget er under stort pres for at kunne brødføde en stadigt voksende verdensbefolkning. Allerede i 1990 var klodens samlede dyrkbare areal fuldt udnyttet, hvilket medfører, at vi er nødt til at øge afgrødeudbyttet på de eksisterende landbrugsarealer for at kunne stoppe sult. Verdensmålet indeholder yderligere mål om at fremme bæredygtigt landbrug, hvilket inklu-

derer et stigende pres for at reducere forbruget af gødning, pesticider og vand i landbruget. Som det blev beskrevet i Aktuel Naturvidenskab nr. 4/2020 er et af flere bæredygtige alternativer, der i disse år udforskes, brugen af afgrøder, der er i stand til at sætte rødder ned under 1-2 m, som er den dybde de mest almindelige nuværende kornafgrøder sætter rødder ned til. Planter med dybe rødder kan nå længere ned efter vand og næringsstoffer

og derved udnytte ressourcer fra et væsentligt større jordvolumen og derved blive mindre udsatte under tørke og næringsstofmangel.

## **Planters samspil med mikroorganismer**

Fra studier af afgrøder såsom byg og hvede ved man, at der er et tæt samspil mellem planter og mikroorganismer, og at dette samspil er vigtigt for at opnå optimal sundhed og vækst af afgrøderne. Mikroor-





Fotos: Annemette Lynne-Kjærbye

Det er muligt at tage prøver af jorden og rødderne i rodtårnene ved at fjerne de hvide plader og bagvedliggende plexiglasruder.

## Rodtårne, et unikt anlæg

Rodtårnene er en facilitet, som er etableret under Deep Frontier projektet, og de består af 12 store kasser, der er 4 meter høje. På midten er de delt op, så hver kasse består af to kamre, der er 0,3 m × 1,2 m × 4 m. Rodtårnene er fyldt med et muldlag og to forskellige typer underjord. Rodtårnene er placeret udendørs og har et drypvandingssystem, der gør det muligt at vande i tørre perioder, lige som det er muligt at sætte tage over tårnene for at undgå nedbør. Vandet kan dræne væk fra bunden af tårnene, så der ikke opstår iltfrie forhold. I fire forskellige dybder er der placeret vandsensorer, der bestemmer vandindholdet i jorden. Forsiden af rodtårnene er opdelt i 20 paneler. Her kan en hvid plade køres væk, og bag hvert panel finder man en plexi-

glasrude, der gør det muligt at se rødderne i jorden. Plexiglasruden kan også fjernes og give direkte adgang til jorden, sådan at der kan tages prøver af jorden og rødderne, ligesom det er muligt at tilføje sporstoffer til jorden for derefter at bestemme optaget i planternes overjordiske dele.

Rodtårnene er ikke en mark, og planterne gror ikke under naturlige forhold. Både jordprofil og temperaturforhold i jorden er anderledes end i marken, men rodtårnene er en helt unik facilitet, der har muliggjort detaljerede studier af røddernes udvikling, fordeling og funktion helt ned i 4 meters dybde i gentagelser og under forhold, der minder om naturlige.

Tekst efter Dorte Bodin Dresbøll og Kristian Thorup-Kristensen, Dybe rødder... AN nr. 4/2020.

ganismer vokser både på plantens grønne dele (kaldet fylosofære), inde i planten (endosfære) samt omkring rødderne (rhizosfære). Det tætte samspil mellem planten og de associerede mikroorganismer har ført til, at man er begyndt at se planten og de tilhørende mikroorganismer som én samlet organisme, der skal optimeres for at opnå maksimalt udbytte.

Den største mængde af plante-associerede mikroorganismer findes omkring rødderne. Det skyldes, at planter udskiller kulstof via rødderne til den omgivende jord, hvilket gør rodzonen til et hotspot for interaktionerne mellem planter og mikroorganismer. Kulstoffet udskilles i form af sukkerstoffer, aminosyrer, fedtsyrer og mange andre mindre

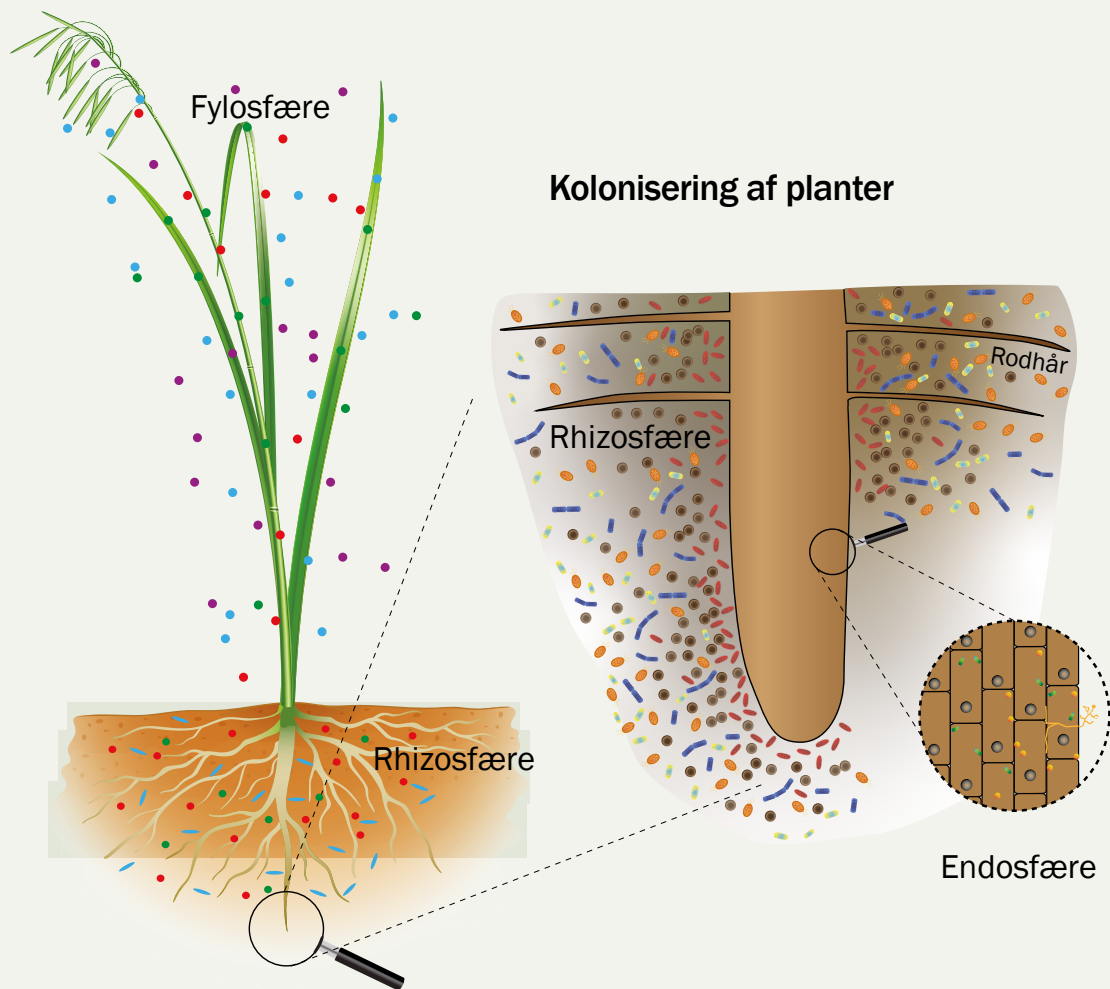
molekyler, heriblandt antimikrobielle stoffer. Sammensætningen af kulstoffet ændrer sig med plantens alder, fysiologisk tilstand samt miljømæssige forhold.

Plante-associerede mikroorganismer er blevet studeret gennem de seneste hundrede år, men fokus har hovedsageligt været på specifikke mikroorganismer og deres enten interaktion med planten. Der har naturligt været stor fokus på sygdomsfremkaldende mikroorganismer, men også organismer med gavnlige funktioner, der naturligt lever i rodzonen er blevet grundigt studeret. Ud over at hjælpe planten med at optage næringsstoffer fra jorden, kan de gavnlige mikroorganismer producere plantehormonlignende stoffer, som påvirker

plantens vækst positivt, de kan hjælpe planten under tørke, eller de kan beskytte planten direkte eller indirekte mod sygdomsfremkaldende organismer.

### Samspil må studeres i naturlige systemer

Gennem det seneste årti er vi blevet i stand til at studere den bredere sammensætning af de mikrobielle samfund i rodzonen ved hjælp af teknikker, som på baggrund af DNA-sekvenser udvundet fra en prøve kan sige noget om, hvilke organismer der findes i prøven. Studier har vist, at de mikrobielle samfund er yderst dynamiske og blandt andet påvirkes af ændringer i det kulstof, som udskilles fra plantens rødder. Brugen af molekylære metoder har yderligere vist,



Planter er koloniseret af mikroorganismer på de overjordiske (grønne; fylosfære) dele, de underjordiske dele (rødderne; rhizosfære), samt inde i planterne (endofyter). Specielt rødderne er et hotspot for kolonisering, da planterne udskiller energirige kulstofforbindelse fra rødderne, som mikroorganismene kan leve af.

Zonen omkring rødderne, som er påvirket af disse kulstofforbindelser, kaldes rhizosfæren. Den strækker sig fra et par millimeter op til cirka 1 centimeter fra roden og ud i den omgivende jord, blandt andet afhængig af antallet af rodhår. De mikroorganismer, der koloniserer planten, kan være:

- 1) sygdomsfremkaldende, og dermed have en negativ effekt på plantens ydeevne;
- 2) neutrale i forhold til plantevækst, det vil sige, at de lever i tæt fysisk kontakt med planterne, men har ingen direkte effekt på plantens sundhed;
- 3) gode, og hjælpe planten med at modstå næringsbegrænsning, sygdomsangreb samt tørke og andre udefrakommende forhold, som kan skade plantens sundhed og vækst.

Sammensætningen af mikroorganismer omkring planternes rødder er dermed en afgørende faktor for, hvor godt planten har det.

at den mikrobielle diversitet omkring rødderne er kraftigt reduceret i forhold til den diversitet, man finder ude i den omgivende jord, samt at specifikke grupper af mikroorganismer ofte er overrepræsenterede i rodzonen. Hvilke organismer, der koloniserer rodzonen, er yderligere afhængig af jordens beskaffenhed, hvordan den bearbejdes, og hvordan der gødskes.

Dette har ført til en erkendelse af nødvendigheden af at gå fra en-til-en systemer til at studere disse in-

teraktioner i naturlige systemer, da observationer fra en-til-en studierne sjældent genfindes under mere komplekse forhold.

### Svær adgang til prøvemateriale

En vigtig del af at udvikle dyrkningssystemer, som understøtter dyb rodvækst, er derfor at forstå interaktionerne mellem planter og mikroorganismer i hele rodzonen. Da det mikrobielle rekrutteringsgrundlag er den omkringliggende jord, er det derfor også en forudsætning, at vi har en forstå-

else af de mikroorganismer, der lever i den dybe jordmatrix. På nuværende tidspunkt er der dog kun meget begrænset viden om mikrobiologien i dybere jordlag – både generelt og i forbindelse med rodkolonisering af afgrøder. Dette skyldes hovedsageligt, at det er svært at få adgang til at indsamle jord og rodmateriale fra dybe jordprofiler på landbrugsarealer. Studier har vist, at der under pløjelaget (øverste 25 cm) er en væsentlig heterogenitet i jorden, og kulstofmængden i jorden under





pløjelaget falder drastisk med dybden. Derudover er der også andre ilt- og næringsforhold i dybere jordlag, hvilket gør at de mikrobielle samfund, der findes i de dybere jordlag, forventes at have en anden sammensætning samt have en anderledes fysiologi. Hvorvidt det har indflydelse på det mikrobielle samfund, der koloniserer afgrøders dybe rødder, er uvist.

### Nyt indblik i underjordens mikrobiologi

Gennem projekterne Genopore og Deep Frontier har vi haft muligheden for at få et første indblik i mikrobiologien i jorde ned til 5 meters dybde, både i jordmatrixen samt omkring dybe rødder. Vi har taget prøver under landbrugsjord i Danmark, og desuden har vi brugt et unikt anlæg på Københavns Universitet til at studere, hvilke mikroorganismer der koloniserer rødderne af potentielle fremtidige

afgrøder som Kernza (en flerårig kornafgrøde), Silphium (en energiafgrøde i familie med skålplante) og lucerne med rodvækst ned til mere end 3 meters dybde.

Baseret på DNA udvundet fra jordprøverne har vi bestemt hvilke bakterier, der var tilstede, og i hvilke mængder. I projektet Genopore så vi, at der var et markant fald i mængden af bakterier samt diversitet ned gennem jordprofilen. Det interessante var dog, hvor stor heterogeniteten var ved forskellige dybder. Heterogeniteten skyldes dybe regnormegange og sprækker i jorden med højere antal og større diversitet af mikroorganismer end i den omkringliggende jord. Sammensætningen af bakterier i regnormegangene og sprækkerne var også markant anderledes end i jordmatrixen og afspejlede de forskellige fysisk-kemiske forhold i disse habitater.

### Målrettet rekruttering af mikrober til plantens overflade

I Deep Frontier fandt vi som forventet, at Kernza, Silphium og lucerne rekrutterede forskellige samfund af bakterier både i pløjelaget og den dybe jord. Det var derimod interessant, at selvom der for de forskellige arter ikke var den store forskel på antallet af mikroorganismer, der koloniserede rødderne ned til cirka 3 meters dybde, så var der et markant fald i diversiteten med dybden. Det skyldes formentlig, at der er meget lidt kulstof tilgængeligt i jordmatrixen under pløjelaget, hvor rødderne skal rekruttere mikroorganismer fra, og de derfor ikke er tilpasset et liv i et rodzone "hotspot". Studiet viste yderligere, at sammensætningen af de mikrobielle samfund var markant anderledes i rodzonen i de dybe jordlag sammenlignet med de mikrobielle samfund, som koloniserede rødderne i pløjelaget.

Udgravning ned til 5 meters dybde. Prøver til karakterisering af mikrobielle samfund i jordmatrixen, regnormegange og sprækker blev taget fra udgravningens sider.

Foto: Frederik Bak



### Mere information

Deep Frontier er et samarbejde mellem Københavns Universitet, Aarhus Universitet samt ICROFS, Internationalt Center for Forskning i Økologisk Jordbrug og Fødevarer-systemer. Projektet er finansieret af Villumfonden. Se mere på [www.deepfrontier.org](http://www.deepfrontier.org)

Genopore er et samarbejde mellem Københavns Universitet og GEUS. Projektet er finansieret af De Frie Forskningsråd.

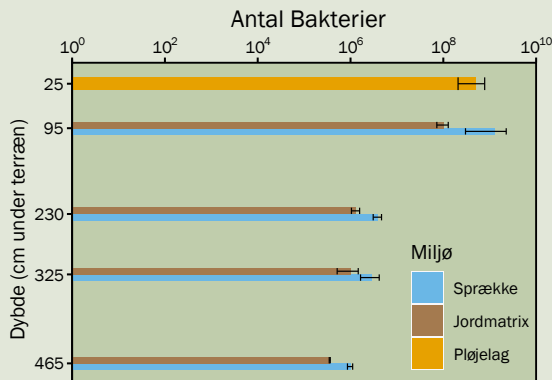
Dybe rødder – et spadestik tættere på bæredygtig produktion? Aktuell Naturvidenskab nr. 4/2020.

Bak et al. (2019) *Preferential flow paths shape the structure of bacterial communities in a clayey till depth profile*. FEMS Microbiology Ecology, Vol. 95, No. 3

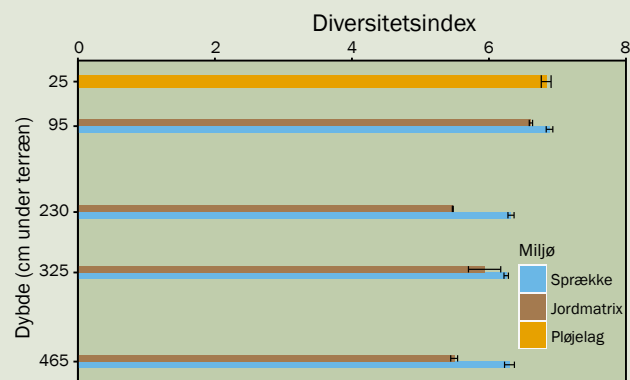
Thorup-Kristensen et al. (2020) *Digging Deeper for Agricultural Resources, the Value of Deep Rooting* Trends in Plant Science, Vol. 25, No. 4

## Diversitet samt antal af bakterier ned gennem en jordprofil:

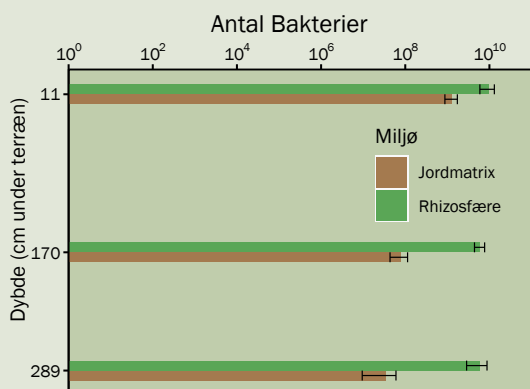
Antallet af bakterier ned gennem jordprofilen er målt ved at "tælle" antallet af et specifikt gen, som findes i alle bakterier, og som koder for en vigtig komponent (kaldet 16S ribosomalt RNA) i det maskineri, der oversætter gener til proteiner i cellen. Diversiteten af bakterier er baseret på et indeks – kaldet Shannon-indeks – som inkluderer både antal arter og arternes forekomst. Jo højere Shannon-indeks, des højere diversitet for det givne bakteriesamfund.



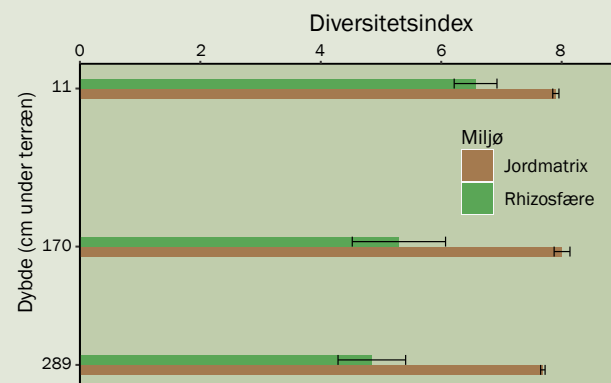
A: Antal bakterier ned gennem en jordprofil målt både i jordmatrix samt i sprækker. Det ses, at antallet af bakterier er lavere i de dybe jordlag. Der er dog selv i de dybe jordlag et højere antal bakterier i sprækkerne sammenlignet med den omgivende jordmatrix. Dette tyder på et højere næringsindhold i sprækkerne i forhold til den omgivende jordmatrix, formentlig tilført via aflejringer ved nedsvivning af regnvand gennem jorden.



B: Diversiteten af bakterier i sprækkerne forbliver høj ned gennem jordlagene sammenlignet med den omgivende jordmatrix. De dybe jordlag har dog overordnet en lavere diversitet end de øverste jordlag. Dette indikerer, at der ud over at være mere næring i sprækkerne også er en kompleks sammensætning af den tilgængelige næring.



C: Antallet af bakterier, der lever omkring rødder, ændrer sig ikke væsentligt ned gennem jordlagene til trods for, at der er et væsentligt fald i det antal bakterier, jo længere ned i underjorden man kommer. Dette kan tilskrives, at rødderne helt ned i de dybeste jordlag udskiller kulstof til den omgivende jord og dermed næring til mikroorganismene.



D: Selvom der er det samme antal bakterier omkring de dybe rødder, som man finder i de øvre rødder, så er diversiteten af de samfund, man finder omkring rødderne, faldende ned gennem jordprofilen. En mulig forklaring på det er, at der formentlig er en mindre andel af de bakterier, som lever i de dybe jordlag, der er tilpasset livet omkring rødderne.

Det tyder på, at rødderne rekrutterer specifikke mikroorganismer fra den omgivende jordmatrix. I et supplerende forsøg med cikorie fandt vi, at både rekruttering af mikroorganismer fra forskellige jordlag og transport af mikrobielle samfund med rødderne ned gennem jordmatrix var vigtige. Ud over at give en basal forståelse af systemerne, er dette resultat af

interesse for en eventuel udvikling af mikrobielle produkter, der kan hjælpe planterne med for eksempel næringsoptag fra dybe jordlag for at opnå stabil produktion.

### Et springbræt for ny forskning

Resultaterne fra disse studier giver ny indsigt i de udforskede bakteriesamfund, der er i dybe jordlag, og som koloniserer afgrøder med

dybe rødder. Resultaterne er et springbræt for ny forskning, der skal udvide vores viden om interaktionen mellem mikroorganismer og rødder i dybden. De kommende år vil dermed vise, hvordan planternes vækst og sundhed påvirkes af disse interaktioner i specifikke jordtyper, og hvordan dette kan udnyttes i optimerede dyrknings-systemer.





KØBENHAVNS  
UNIVERSITET



# DET RIGTIGE STUDIEVALG TAGER TID

Brug tiden på at tage et **Uddannelsestjek** på KU's naturvidenskabelige bacheloruddannelser. Så er du bedre rustet til dit studievalg inden ansøgningsfristen 5. juli.

Klik dig ind på den uddannelse, du er interesseret i på [science.ku.dk/ba](http://science.ku.dk/ba) – du finder **Uddannelsestjekket** på studiets hjemmeside.

***[science.ku.dk/ba](http://science.ku.dk/ba)***

# STAMCELLER OG SÅRHELING

Kroniske sår er blevet en folkesygdom, og forskerne er på jagt efter nye behandlingsmuligheder for at hjælpe de mange patienter. Stamceller fra fedtvæv har vist sig at være yderst gavnlige, når det kommer til regenerering af væv, og de virker derfor lovende i kampen mod de grimme sår.

Illustration: Shutterstock

**S**årheling er for det meste en proces, der foregår helt af sig selv, og uden at vi tænker nærmere over, hvor avanceret en proces, det faktisk er. Desværre er der nogle sår, som simpelthen bare ikke vil hele. Vi kalder disse sår for problemsår eller kroniske sår. I Danmark er der hvert år 40-50.000 personer, som bliver behandlet for et kronisk sår, og desværre stiger antallet i takt med, at befolkningen generelt bliver ældre, og flere mennesker får livsstilssygdomme som overvægt, diabetes og problemer med blodomløbet.

Kroniske sår er en bred kategori af sår, som alle har det til fælles, at de ikke er helet efter 6 uger. Årsagen til sårenes manglende heling er meget forskellig og skyldes ofte forskellige kombinationer af flere bagvedliggende faktorer som alder, dårlig ernæringstilstand, traume og kroniske sygdomme. At årsagerne er så forskellige fra patient til patient giver anledning til stor biologisk variation sårene imellem,

hvilket også viser sig i meget forskellige i sygdomsforløb og sårkarakteristika.

De kroniske sår er komplicerede at behandle, og der bruges årligt et sted mellem 5 og 6 milliarder kroner på behandlingen af dem. Derudover er behandlingsstrategien generelt baseret på lav evidensgrad – det vil sige, at man ikke har bevis for, at det, man gør, rent faktisk virker. Desuden er behandlingsstrategien meget smal, hvilket vil sige at variationen i de metoder, man benytter, ikke er særlig stor. Kombinationen af dette og patienternes og sårenes store forskellighed betyder desværre, at man ikke altid opnår den ønskede effekt af behandlingen. Faktisk vurderer man, at 40 % af patienterne ikke har gavn af den behandling, de modtager. Konsekvensen af dette kan være, at man må ty til amputation. For eksempel resulterer behandlingsforløbet for cirka en procent af patienterne med diabetisk fodsår i amputation af alt fra enkelte tæer til hele ben. Og

har patienten først fået amputeret det ene ben, er der stor risiko for, at man senere også må amputere det andet.

Da mange patienter i dag ikke opnår en tilfredsstillende sårheling med de eksisterende behandlinger, leder man efter nye behandlingsmuligheder, der både er effektive og spænder bredt. Meget tyder på, at stamceller fra fedtvæv kan være en mulighed.

## **Stamceller fra fedtvæv er hot**

Stamceller er umodne celler, der ligger i dvale i kroppen og bliver aktiveret, når der er brug for dem til at reparere en skade. De kan dele sig igen og igen, og de kan kontinuerligt forny stamcellepopulationen, så der hele tiden er nye stamceller til rådighed i tilfælde af skade. Derudover kan de udvikle sig til modne celler med en specifik funktion som knogleceller, bruskceller eller fedtceller og dermed agere byggeklodser i kroppens væv. Yderligere kan de producere en lang række

## **Forfatteren**



Simone Riis Porsborg er lektor ved Forskningsenheden for Regenerativ Medicin, Aalborg Universitet.

Simone forsker i, hvordan stamceller fra fedtvæv kan bruges til behandling af sår. sriis@hst.aau.dk



## Typer af sår i huden, som ikke heler:

- Maligne sår opstår i forbindelse med en kræftsygdom.
- **Venøse bensår** opstår på grund af såkaldt venøs insufficiens, hvor blodet ikke løber ud af benet og tilbage til hjertet, fordi veneklapperne i venerne i benet er gået i stykker.
- **Arterielle bensår** skyldes iltmangel i benet på grund af åreforkalkning i de blodårer, der transporterer det iltede blod ud til benet og tæerne.
- **Tryksår** opstår ved manglende bevægelse og dermed konstant tryk på huden over for eksempel et knoglefremspring. Kan også skyldes at følesansen er nedsat, og man dermed ikke kan mærke, at eksempelsvis ens sko trykker.
- **Diabetiske fodsår** opstår i sukkersygepatienter på grund af beskadigede nerver og nedsat blodcirkulation.

### Hvor stort et problem er kroniske sår?

Kroniske sår har en meget stor indflydelse på livskvaliteten for den enkelte patient. Patienter med kroniske sår oplever voldsomt nedsat livskvalitet på grund af funktionsnedsættelse og smerter, nedsat følelse af selvstændighed, psykosociale begrænsninger og øget risiko for amputation og tidlig død. Oven i dette kommer manglende indtægt på grund af lange sygdommelinger, indlæggelser og mulig førtidspension.

Omkostninger for samfundet er også store. Således er det i de seneste opgørelser vurderet, at der i de 2009 blev brugt 793 millioner kroner alene til behandling af patienter med diabetisk fodsår.



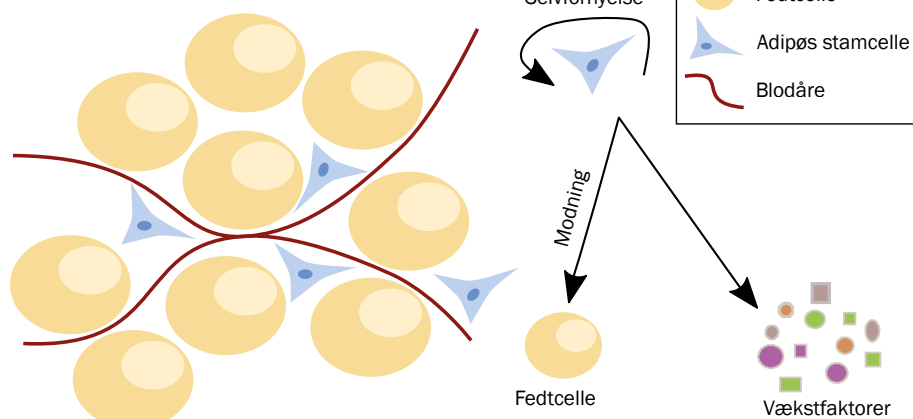
Kronisk fodsår på hælen af en diabetes-patient. Foto: Poul Erik Jakobsen, Fodcentret, Endokrinologisk Afdeling, Aalborg Universitetshospital.

vækstfaktorer og andre molekyler, som kan påvirke og modulere andre celler omkring dem.

Stamceller fra knoglemarv har været brugt til behandling af leukæmi siden 1957, og stamceller fra fedtvæv tilhører samme stamcellefamilie. De blev først opdaget i 2001 og har siden taget stamcelleområdet med storm, da de har vist sig at være mindst lige så potente som stamceller fra knoglemarv. Stamceller fra fedtvæv bliver i dag brugt i en række kliniske forsøg, blandt andet til behandling af hjerteinfarkt på Rigshospitalet i København. De har vist sig at være vævshelende, anti-inflammatoriske, dynamiske i forhold til det miljø, de placeres i, og nemme at håndtere i produktionsøjemed.

Fordelene ved stamceller fra fedtvæv er, at de kan høstes fra alle personer gennem hele livet. Det eneste, det kræver, er, at man har en lille smule fedtvæv, man kan undvære. De er forholdsvis nemme at høste

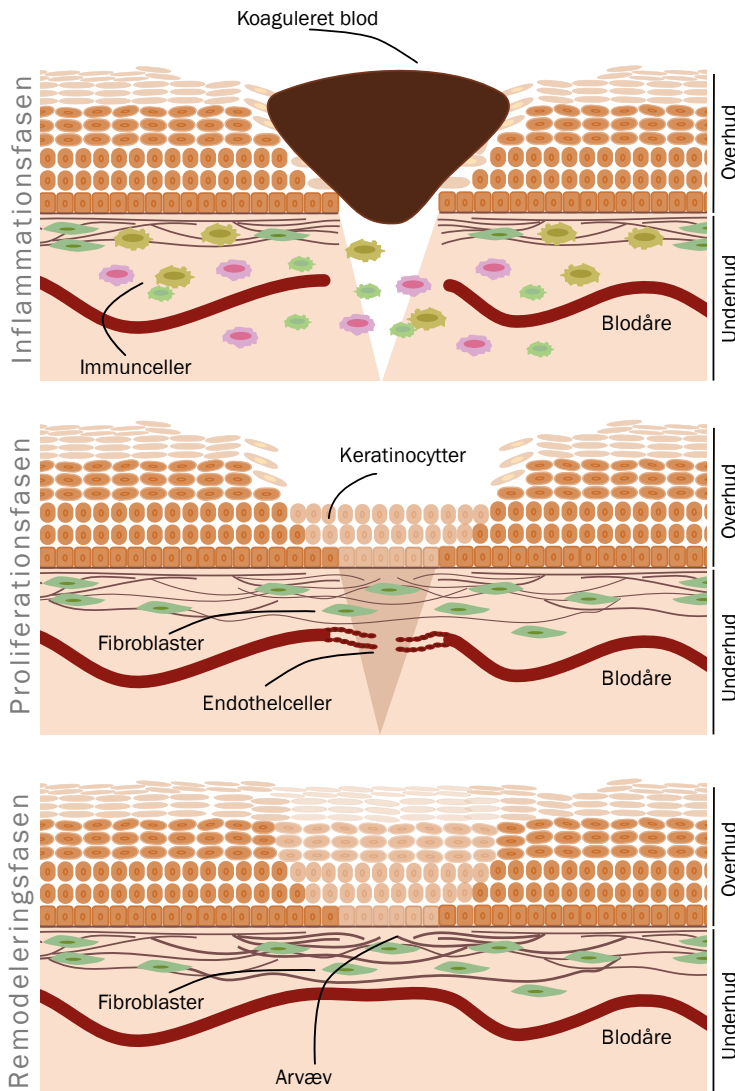
### Naturligt i kroppen



Adipøse stamceller (= stamceller i fedtvæv) findes naturligt i kroppens fedtvæv imellem modne fedtceller og blodårer. Her kan de enten forny stamcellepopulationen ved at dele sig og blive til to nye stamceller, de kan specialisere sig til modne fedtceller eller producere vævsbevarende vækst faktorer, som så får andre celler til at hele vævet. Illustration: Simone Porsborg

ved hjælp af en fedtsugning, og de kan høstes i stort antal, fordi man kan suge en stor mængde fedtvæv ud, og fordi der er en høj koncentration af stamceller i fedtvævet. De er stabile, når de tages ud af kroppen, og de bibeholder deres stamcelleegenskaber efter længere tid i et

laboratorie. En anden væsentlig fordel er, at man kan transplantere stamceller fra fedtvæv fra en donor til en patient uden nogen form for vævs-matchning eller immun-hæmmende behandling. Patientens immunforsvar aktiveres nemlig ikke med det samme af stamcellerne,



Sårhelingsprocessen kan inddeles i tre faser; inflammationsfasen, proliferationsfasen og remodeleringsfasen. Illustration: Simone Porsborg

være alle faserne af sårhelingen, der er påvirket; immunsystemet kan gå i selvsving og tro, at det ikke er færdigt med at rydde op og dermed ikke give plads til, at de vævsopbyggende celler kan komme til, proliferationsfasen kan blive bremset af inaktive endothelceller, der ikke danner nye blodkar, inaktive fibroblaster, der ikke danner det midlertidige væv, inaktive keratinocytter, der ikke danner overhuden og dermed lukker såret af, og remodeleringsfasen kan blive hæmmet eller forstyrret, hvilket resulterer i et svagt arvæv eller for meget arvæv, som kan være et både funktionelt og kosmetisk problem.

### Stamceller kan fremme sårhelingen

Siden 2001, hvor stamceller fra fedtvæv blev opdaget, har en stigt stigende mængde forskning baseret på laboratorie- og dyreforsøg samt et par enkeltmandsstudier undersøgt disse stamceller og deres effekter nærmere. I forhold til sårheling har forskningen blandt andet vist, at stamceller fra fedtvæv kan modulere immunforsvaret og hjælpe det ud af den onde cirkel. De kan fremme dannelsen af blodkar ved at aktivere patientens endothelceller, de kan fremme dannelsen af midlertidigt væv i proliferationsfasen ved at aktivere de såkaldte fibroblaster, de kan fremme dannelsen af overhud ved aktivering af keratinocytter, som er de celler der danner overhuden, og de kan kontrollere dannelsen af arvæv, så der hverken dannes for meget eller for lidt. Alt tyder på, at dette sker igennem stamcellernes evne til at fornemme deres omgivelser og derefter frigive de forskellige vækstfaktorer og molekyler, der skal til, for at genskabe den nødvendige balance i vævet, så sårhelingen igen kan forløbe normalt. De burde altså være en effektiv behandlingsmulighed mod kroniske sår.

Forskningen har dog også vist, at stamceller fra fedtvæv ikke bare er stamceller fra fedtvæv. Det har således rigtig stor betydning for stamcellernes effektivitet, hvilken

og de får i ro og mag lov til at udføre deres arbejde, inden de efter cirka 14 dage går til.

Alle disse faktorer taler for, at man bruger netop stamceller fra fedtvæv i behandlingsstrategier beregnet på at hele væv, for eksempel til heling af kroniske sår.

### Sårhelingsens faser

Normal sårheling er en meget velkontrolleret proces, som kan opdeles i tre faser:

Først koagulerer blodet, og immunforsvaret renser såret for beskadigede celler og eventuelle bakterier, der måtte være kommet i såret. Dette kaldes inflammationsfasen. I næste fase (proliferationsfasen) dannes et midlertidigt væv, som hudens celler kan bruge som guide

eller stillads, når de deler sig og vandrer for at lukke hullet. Til sidst remodeleres det dannede arvæv, så det med tiden bliver stærkt nok til at kunne modstå normal brug (remodeleringsfasen).

I kroniske sår er der noget, der forstyrrer processen, så helingen tager meget længere tid og i nogle tilfælde går helt i stå og for eksempel aldrig kommer videre end den første fase, inflammationsfasen. Dette er meget problematisk, idet hudens primære funktion er at være en barriere for indtrængen af fremmede organismer, og så længe, der er hul på huden, er det også muligt for bakterier og andre mikroorganismer at komme ind i kroppen og give anledning til en infektion.

I gruppen af kroniske sår kan det



## Sårheling og keratinocytter

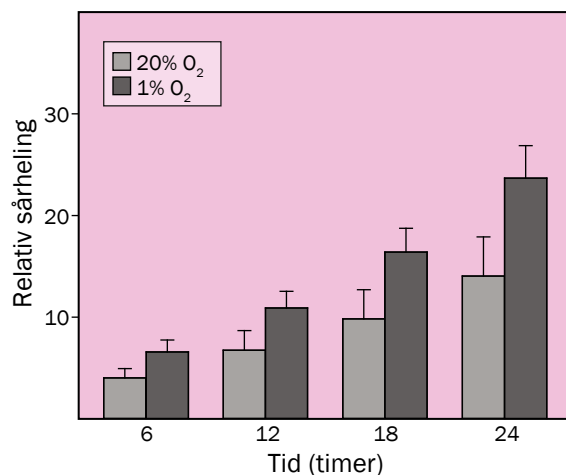
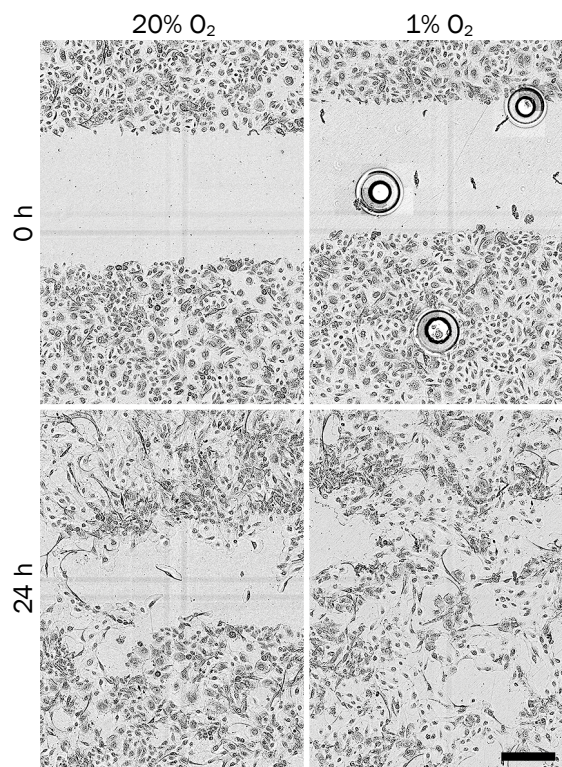
donor de kommer fra. Hvor på kroppen, de er isoleret fra, gør også en forskel. Vi ved, at sygdom og alder påvirker stamcellerne negativt, og at de bedste stamceller ser ud til at komme fra unge, raske donoreres mavedefet.

### Fra fedtvæv til medikament

I takt med, at der kommer mere og mere evidens for, at stamceller fra fedtvæv er vævsopbyggende og kan bruges i behandlingsøjemed, bliver det stadig mere relevant at forholde sig til, hvordan man kommer fra en klump fedtvæv til et færdigt lægemiddel.

Første skridt er at finde en god donor, som kan få foretaget en fedtsugning på sygehuset. Herefter bliver fedtvævet fragtet til en produktionsenhed, hvor det under sterile og kontrollerede forhold vaskes i saltvand for at fjerne eventuelle rester af blod. Dernæst skal fedtvævet nedbrydes ved hjælp af enzymer, så alle cellerne frigives fra deres strukturelle bindinger. Herefter adskilles fedtvævet bestanddele ved hjælp af centrifugering, hvor de tungeste dele falder til bunden, heriblandt er stamcellerne.

Dette tunge "bundfald" overføres derefter til en overfladebehandlet plastikflaske, hvor stamcellerne vil sætte sig fast på bunden og begynde at dele sig. Dette kan gøres flere gange, så man til sidst har rigtig mange stamceller. Undervejs holder man selvfølgelig rigtig godt øje med kvaliteten, dvs. at stamcellerne bliver ved med at være stamceller, og at de ikke bliver forurenede med for eksempel bakterier. Herefter fryses stamcellerne ned i portioner og ligger så klar til at blive transporteret tilbage til sygehuset, når der er brug for dem. Her håber vi, at de i fremtiden vil kunne blive givet til patienterne i form af injektioner rundt i kanten af såret. Vi forventer, at der skal gives i omegnen af 50 millioner stamceller per sår, og ved store sår vil det kunne blive nødvendigt at gentage behandlingen 2-3 gange, før såret er helt lukket.



Stamcellerne udskiller vævshelende vækstfaktorer til deres omgivelser, for eksempel keratinocytterne i sårets overhud. Her er det testet, om stamcellernes vævshelende egenskaber ændrer sig med iltniveauet.

Først lavede vi en ridse i et lag af keratinocytter for at simulere et sår. Derefter tilsatte vi vævshelende faktorer fra stamceller udsat for enten 20 % eller 1 % O<sub>2</sub> til såret. Vi målte herefter, at keratinocytterne eksponeret for vævshelende faktorer fra stamceller udsat for 1 % O<sub>2</sub> var hurtigst til at lukke såret.

Det viser, at et lavt iltniveau, som er i vævet, når for eksempel blodforsyningen skades, skruer op for stamcellernes vævshelende egenskaber.

Figur modificeret efter Riis, S. et al (2017), Int J Mol Med.

### Virker det?

Om stamcellerne virker i praksis på patienter med kroniske sår, ved vi endnu ikke. Før man kan udtale sig om det, skal der laves en række kliniske studier på patienter. Her skal man først fastlægge, om sik-

kerheden er i orden, så patienterne eksempelvis ikke får voldsomme bivirkninger og i værste fald dør af at modtage dem. Dette skal af princip undersøges for hver enkelt anvendelsesmulighed, men vi ved fra brugen mod hjerteinfarkt, at selvom

Yderligere læsning  
Finn Gottrup & Tonny Karlsmark (red) 2008: Sår – baggrund, diagnose og behandling. Munksgaard Danmark.

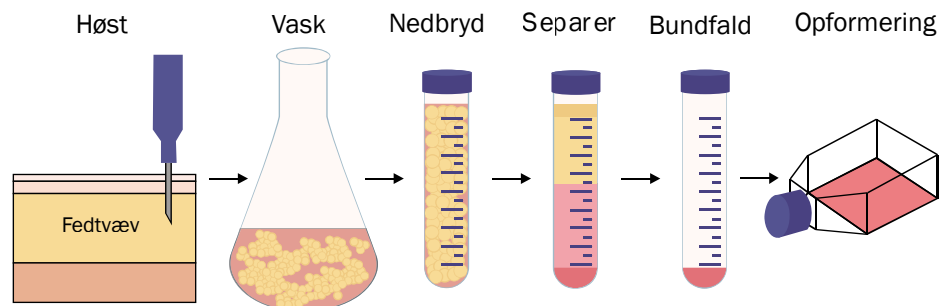
Video:  
Stamceller fra fedtvæv kan få dit sår til at hele hurtigere! Porsborg, Simone Riis (Producer). 2020. Aalborg Universitet: Youtu.be/xdXu001MibA  
Link til opgavesæt (pdf): kortlink.dk/2axzk

Critical steps in the isolation and expansion of adipose-derived stem cells for translational therapy, Riis, S. E., Zachar, V., Boucher, S., Vemuri, M. C., Pennisi, C. P. A. & Fink, T., 2015, Expert Reviews in Molecular Medicine. 17, 11 p., e11.

Systematic Review of Stem-Cell-Based Therapy of Burn Wounds: Lessons Learned from Animal and Clinical Studies. Henriksen, J. L., Sørensen, N. B., Fink, T., Zachar, V. & Porsborg, S. R., 2020, Cells. 9, 12, 2545.

Riis, S. et al (2017). Hypoxia enhances the wound-healing potential of adipose-derived stem cells in a novel human primary keratinocyte-based scratch assay. International Journal of Molecular Medicine, 39(3), 587-594. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2017.2886>.

Stamceller fra fedtvæv isoleres ved at høste fedtvæv ved hjælp af en fedtsugning, herefter vaskes vævet og nedbrydes for at frigive stamcellerne, som vil falde til bunden. Til sidst sætter de ud på en plastikoverflade, hvor de sætter sig fast og gror.



man sprøjter stamcellerne direkte ind i hjertemuskulaturen, sker der ikke noget. Herefter skal stamcellerne så testes for, om de rent faktisk er mere effektive i behandlingen af kroniske sår end standardbehandlingen. Det er vigtigt, at man tester dette ved hjælp af et kontrolleret og randomiseret klinisk forsøg. Det vil sige, at man tester effekten af stamcellebehandlingen på en stor flok patienter og sammenligner med en gruppe af patienter, der kun modtager almindelig sårpleje. Hvem af forsøgspersonerne der modtager stamcellebehandlingen, og hvem der modtager standardbehandlingen, skal være helt tilfældig. Base-

ret på et sådan studie vil det være muligt at konkludere, om stamceller fra fedtvæv i fremtiden kan bruges som behandling af kroniske sår.

### Forskning lige nu

Ved Forskningsenheden for Regenerativ Medicin kigger vi for tiden nærmere på, hvordan fremstillingen af stamcellerne fra fedtvæv kan gøres endnu bedre, så vi sikrer, at de stamceller, patienterne vil blive tilbudt, virker allermost optimalt. Vi kigger herunder på, hvordan de materialer, vi bruger i fremstillingen af det endelige stamcelleprodukt, påvirker stamcellernes karakteristika og effektivitet. Derudover

er vi også meget optagede af, om stamceller fra én donor er mere sårhelende end stamceller fra en anden donor. Derfor arbejder vi på at identificere metoder, hvorved vi kan forudsige, hvor effektive stamcellerne vil være, når de bliver givet til patienterne. Her undersøger vi blandt andet, om der er en direkte sammenhæng imellem stamcellernes evne til at modulere immunforsvaret og effektiviteten af helingen, eller om det er stamcellernes evne til at stimulere dannelsen af nye blodkar, der er vigtigst. På denne måde kan vi forhåbentligt sikre, at patienterne kun vil modtage de bedste af de bedste stamceller. ■

## Det Naturvidenskabelige Fakultet

Tre gode grunde til at læse

# Datalogi på Syddansk Universitet



1. Datalogi på SDU er kendetegnet ved at indeholde alle de relevante grene af faget. Det giver dig en bred generalistviden - og samtidig mulighed for at vælge dit eget speciale gennem uddannelsen.
2. Når du læser Datalogi på SDU, befinder du dig tæt på Nordeuropas største klynge af it- og robotvirksomheder i Odense. Det er derfor forholdsvis let at få et relevant studiejob. Samtidig giver det dig gode jobmuligheder i området, når du er færdig med din uddannelse.
3. Dine undervisere på Institut for Matematik og Datalogi er i høj grad tilgængelige med hjælp og vejledning til dine opgaver og projekter.





Fatima Alzahraa Alatraktchi er ansat som adjunkt på Roskilde Universitet ved Institut for Naturvidenskab og Miljø i sektion for molekylær- og medicinalbiologi. Hun har været ansat som adjunkt på instituttet siden 2019. [alzahraa@ruc.dk](mailto:alzahraa@ruc.dk)

Foto: Camilla Hey

# FATIMA VIL FORKORTE VEJEN TIL KORREKT DIAGNOSE

**Fatima forsker i biomarkører, og hvordan bakterier kommunikerer med hinanden. Hun har vundet prestigefyldte talent- og forskningspriser, stiftet egen biotekvirksomhed og skrevet fire spændingsromaner. Og hun har kun lige rundet de 30 år.**

**F**atima Alzahraa Alatraktchi har i en alder af 31 år et CV, det vil tage de fleste andre det meste af et arbejdsliv at opnå. Hun er internationalt anerkendt og prisbelønnet som forsker, og er af Forbes Business Magazine listet blandt de 30 mest indflydelsesrige europæere under 30 år indenfor videnskab og sundhed. Derudover har hun udgivet en TED-talk, som er set næsten to millioner gange, og har stiftet egen virksomhed, der beskæftiger sig med udvikling af udstyr til hurtig-diagnostik af infektioner.

Privat er Fatima gift og mor til to piger på seks og to år. Fritiden bruges på at skrive skønlitteratur – typisk

spændingsromaner. Det er indtil nu blevet til fire bøger, to arbejdslegater fra Statens Kunstfond og flere priser for sit talent som ung forfatter.

## **Kreativitet som fællesnævner**

For Fatima giver det god mening at forske i nanoteknologi og molekylær biologi og samtidig skrive skønlitteratur.

»Jeg har siden folkeskolen vidst, at jeg vil noget med naturvidenskab og altid synes atomfysik og kvantemekanik er fascinerende. Min debut-bog udkom, mens jeg gik i gymnasiet. Mens forskning kræver et laboratorium, uddannelse og funding, kan du lettere sætte dig ned og skrive en bog,« siger Fatima.

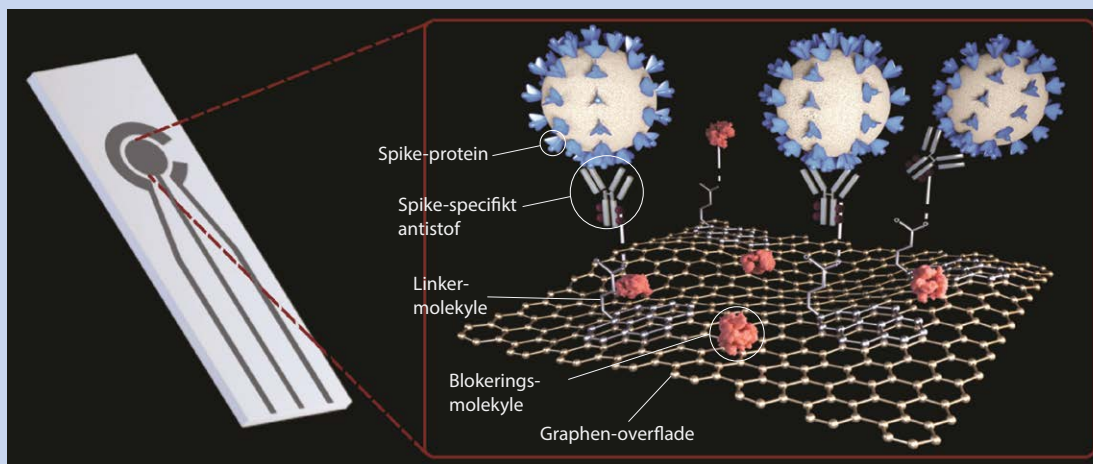
Hun vil gerne slå et slag for, at forskning er et meget kreativt miljø. »Som forsker kan du ikke overleve uden kreativitet. Du skal løse udfordringer, der ikke findes svar på i dag, og det kræver, at man kan sætte spørgsmålstegn ved etableret viden og få gode ideer. Du skal spørge, om det eksisterende virkelig er det rigtige, hvordan vi kommer videre, hvordan vi opdager nyt land. På samme måde skal du bruge din kreativitet til at tænke nyt, når du skriver en bog.«

## **Forsker i biomarkører**

Fatima har en ph.d. i nanoteknologi og molekylærbiologi. Forklaret meget forsimplet forsker hun i, hvordan bakterier kommunikerer

**Forfatter**  
Af journalist David Erichsen, Erichsen Kommunikation, [david@erichsencom.dk](mailto:david@erichsencom.dk)

## Biosensorer og Covid-19



Nanomodificeret overflade af elektrokemisk sensor til specifik binding af SARS-CoV-2/corona-virus. Der er vist de forskellige elementer, der indgår i reaktionen. Blokeringsmolekylet har blot til formål at fylde op, så aktive steder på sensoren ikke binder til uspecifikke molekyler i prøven. Illustration efter Mojsoska, B. et al (2021).

En biosensor er kort fortalt en sensor, der kan reagere på et biologisk stof. Biosensorer består grundlæggende af to dele: Et genkendelselement, der reagerer, når det kommer i kontakt med det biologiske stof, man ønsker at måle, og en transducer, der omdanner reaktionen til et signal, man kan måle – typisk et elektrisk eller optisk signal. Ofte vil der også være tilkoblet et system, der forstærker signalet.

De første biosensorer, der blev udviklet, blev brugt til at måle iltindholdet i blod. I dag finder de anvendelse indenfor mange forskellige områder, men specielt til medicinsk brug til måling af eksempelvis glukose i blodet hos mennesker med diabetes eller kolesterol. Føleren i en biosensor kan være en biochip, der måler på mange forskellige reaktioner samtidigt.

Fatima har i sin forskning arbejdet med udvikling af biosensorer til detektion af biomarkører for bakterieinfektioner – for eksempel toxinet pyocyanin, der produceres af bakterien *Pseudomonas aeruginosa*, der kan forårsage alvorlige lungebetændelser (se faktaboks om biomarkører).

Da corona-epidemien brød ud, kastede hun sig ud i at udvikle en biosensor, der hurtigt og sikkert kan detektere den nye virus SARS-CoV-2. I starten af januar publicerede hun sammen med en række kolleger en artikel, som præsenterer en prototype på en sådan sensor. Den funktionelle del af denne sensor er en grafen-elektrode beklædt med antistoffer mod det såkaldte spike-protein på coronavirussen. Coronavirus vil derfor meget selektivt binde sig til elektroden, og når det sker, vil man efter kort tid kunne måle en strømforskel. I demonstrationsmodellen skal prøven sidde på prøven i 45 minutter for at sikre, at reaktionen mellem spike-protein og grafenoverflade sker, men forskerne undersøger nu, om man kan nøjes med 5 minutter. Selve måletiden er nemlig blot 41 sekunder.

De elektrokemiske vekselvirkninger mellem spike-proteinet og den antistofbeklædte elektrode, der opstår i løbet af måletiden, er styret af kvantemekanikken. Derfor har Fatima megen glæde af sin baggrund indenfor nanoteknologi og kvantefysik i sit arbejde med biosensorer.

Tekst: Aktuel  
Naturvidenskab

med hinanden. Målet er at kunne stille diagnoser tidligere og bedre forudse, hvordan sygdomsforløb vil udvikle sig. Det vil være til gavn for rigtig mange mennesker.

»Lige nu arbejder jeg konkret med at udvikle en målemetode til hurtigt at måle biomarkører fra forskellige sygdomme. Det kan være alt fra infektioner til cancer. Det, vi ser efter, er markører i det helt tidlige stadie af sygdomme og en metode til hurtigt og enkelt at kunne måle på dem. På den måde vil en læge kun-

ne screene en patient og med det samme få viden til både diagnose, prognose og behandling. Ultimativt skal patienten kunne måle selv – for eksempel med en dråbe blod.«

### Et område med potentiale

»Jeg har specialiseret mig i en grænseflade mellem nogle underfelter i nanoteknologi, diagnosticering og molekylær biomedicin, og så er jeg fagligt solid i de forskellige undergrene. Derfor kan jeg bevæge mig i områder, som potentielt kan udfolde forskningen og give os et

anderledes perspektiv på forståelsen af udvikling af sygdomme.«

Fatima er oprindeligt nanoteknologiingeniør og har derfor arbejdet meget med, hvordan noget fungerer på et kvantemekanisk plan. Det var på den måde, hun fandt ud af, at det er muligt at udvikle metoder til at forstå, hvordan bakterier kommunikerer med hinanden, og hvad de siger til hinanden.

»Hvis man er meget specifik og meget sensitiv, kan det lade sig gøre



FÅ SVAR PÅ DINE SPØRGSMÅL OM STUDIET

# MØD STUDERENDE ONLINE

Der er mange spørgsmål til studielivet - heldigvis er de studerende klar til at hjælpe dig med at finde svar.

Book et personligt, online møde med en studerende, der kan fortælle om sin hverdag på en af Aarhus Universitets **naturvidenskabelige uddannelser og ingeniøruddannelser.**



Fotografer: Anders Trærup og Lars Kruse, AU Foto

Læs mere og tilmeld dig på

[NAT.AU.DK/STUDERENDEFORENDAG](https://nat.au.dk/studerendeforendag)

 NATURAL SCIENCES  
AARHUS UNIVERSITET

[TECH.AU.DK/STUDERENDEFORENDAG](https://tech.au.dk/studerendeforendag)

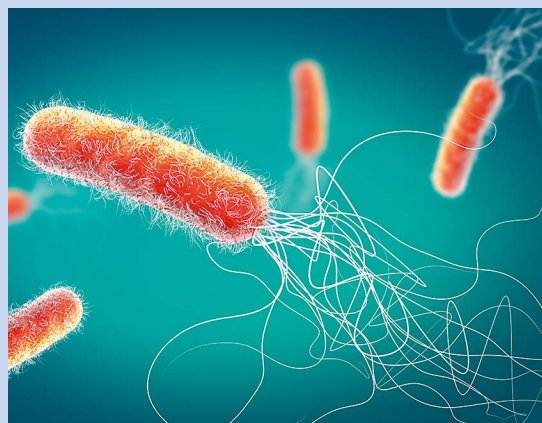
 TECHNICAL SCIENCES  
AARHUS UNIVERSITET

## Biomarkører

En oplagt anvendelse af biosensorer er til måle, om en person er inficeret af sygdomsfremkaldende bakterier, og der foregår i øjeblikket intens forskning på området. Hvis man vil teste for en helt bestemt bakterie, skal biosensoren specifikt kunne genkende denne bakterie og samtidig måle med så stor præcision, at man ikke overser infektioner eller får en masse falske positive testresultater. I praksis er det sjældent hele bakterien, man genkender med sin biosensor, men en biomarkør – det vil sige en eller anden kemisk signatur, der er unik for bakterien. Biomarkører kan være arvemateriale (DNA/RNA), unikke kemiske strukturer på mikroorganismenes overflade (i lighed med det såkaldte spike-protein på corona-virusen), eller det kan være kemiske stoffer, som bakterierne udskiller.

Fatima og hendes kolleger arbejder på at bruge bakteriernes kommunikationssignaler som biomarkører. Det kan måske virke overraskende, at bakterier kommunikerer med hinanden, men det gør de faktisk, og det er afgørende for deres sygdomsfremkaldende egenskaber.

Bakteriel kommunikation baserer sig på alsidige kemiske signalmolekyler, som regulerer bakterie-genernes aktivitet i en proces kaldet quorum sensing. Udtrykket quorum kan oversættes til "det beslutningsdygtige antal medlemmer i en forsamling", og det fortæller dermed, at signaleringen er afhængig af tætheden af bakterierne. Quorum sensing tillader individuelle bakterier i en koloni at koordinere og udføre mange aktiviteter på tværs af kolonien såsom sporedannelse, lysudsendelse (bioluminescens) og evnen til at overleve mødet med fremmede organismers immunforsvar (virulens).



3D-illustration af bakterien *Pseudomonas aeruginosa*. I en ny videnskabelig afhandling i tidsskriftet *PLoS ONE* viser Fatima og kolleger, at denne bakterie kan blive mere aggressiv af at blive eksponeret til antibiotika-koncentrationer, der ikke direkte dræber dem. De kan altså producere mere gift, når de bliver "irriteret" af antibiotika. Illustration: Shutterstock.

Et eksempel på et bakterielt signalmolekyle er giftstoffet pyocyanin, som bakterien *Pseudomonas aeruginosa* udskiller i de tidlige faser af en infektion. Denne bakterie kan forårsage alvorlige lungebetændelser og før at kunne spore denne bakterie hurtigt, billigt og på et tidligt stadium i en infektion, har Fatima og hendes kolleger udviklet en biosensor, der kan detektere pyocyanin.

Hvis en prøve indeholder bakterier, der udskiller pyocyanin, vil man kunne fremprovokere en elektrokemisk reaktion med sensoren. Ved at sætte en spænding til en sensor, som er i kontakt med en pyocyanin-positiv prøve, vil pyocyanin udveksle elektroner med sensorens overflade, og derved vil der kunne registreres en strømændring, der identificerer bakterien og mængden af giftstoffet.

Tekst: Aktuel  
Naturvidenskab

### Mere information

Se Fatima Alzahraa Alatraktchis Ted-talk: *To detect diseases earlier, let's speak bacteria's secret language*, på Ted.com

Mojsoska, B.; Larsen, S.; Olsen, D.A.; Madsen, J.S.; Brandslund, I.; Alatraktchi, F.A. *Rapid SARS-CoV-2 Detection Using Electrochemical Immunosensor*. *Sensors* 2021, 21, 390. <https://doi.org/10.3390/s21020390>

Mojsoska, B., Ghoul, M., Perron, G.G., Jenssen, H. & Alatraktchi, F.A.: (2021): *Changes in toxin production of environmental Pseudomonas aeruginosa isolates exposed to sub-inhibitory concentrations of three common antibiotics*. *PLoS ONE* 16(3): e0248014

at spotte små kemiske ændringer i kroppen, der kan fortælle os noget om sygdomme.«

### Grundforskning og dilemmaer

Selv om Fatima AlZahraa Alatraktchi er langt i sin forskning, rummer området stadig store ubesvarede spørgsmål og spændende dilemmaer – både konkret og filosofisk.

»Det er for eksempel fascinerende at tænke på, at en bakterie udskiller noget, der ødelægger menneskekroppen, samtidig med at bakterier ikke har nogen interesse i at slå os ihjel, da det jo vil betyde, at de ikke har nogen vært mere. Et stort ubesvaret spørgsmål er derfor, hvordan bakterier beslutter, hvornår de skal slukke for produktion af de ødelæggende stoffer,« fortæller Fatima.

Et andet interessant spørgsmål handler om bakteriers kommunikation med hinanden – konkret i hvilken kontekst forskellige kommunikationssignaler udskilles eller ikke udskilles. Hvis man kan finde svaret på de to spørgsmål, vil det kunne få stor betydning for grundforskningen på området og på den måde, behandlingsforløb designes.

### Vigtigt at drømme og vælge rigtigt

Fatima drømmer om at opnå to ting med sin forskning. Det ene er, at hun får besvaret nogle af de forskningsspørgsmål, hun arbejder med, og som hun håber vil føre hende til endnu flere spørgsmål. Det andet er, at hendes arbejde kommer til at gøre mere end blot at tilfredsstille egen nysgerrighed ved for eksempel

at bidrage til en bedre forståelse af sygdomsudvikling og ultimativt til en bedre prognose for patienter.

Selv om Fatima har travlt med både forskning og forfatterskab, har hun også tid til at være gift, mor til to og et hus i Greve. Det er selvfølgelig hårdt, men for Fatima er opskriften enkel:

»Det er vigtigt at være helt klar over, hvad det er du prioriterer i livet, vælge nogle helt bestemte prioriteter og virkelig gøre sit bedste der. For mig er det min familie, min forskning og mine bøger. Hvis du er fokuseret, din nære omgangskreds støtter dig, og du er parat til at ofre lidt nattesøvn indimellem, så kan du sagtens få det hele til at hænge sammen.«





## Undervisningsmaterialer

Du kan finde masser af inspiration til gymnasieundervisningen i de naturvidenskabelige fag på Aktuel Naturvidenskab's hjemmeside. Her finder du både arbejdsark, som tager udgangspunkt i en enkelt artikel, og forslag til længere forløb. På hjemmesiden finder du også oversigter over artikler indenfor en række store temaer som evolution, klimændringer og biodiversitet.

### Quizzer til leg og læring

Du kan finde flere end 60 forskellige quizzer på Aktuel Naturvidenskab, der kan bruges for sjov eller i undervisningen til at teste, om eleverne har forstået de vigtige budskaber i de artikler, quizzerne bygger på.

Prøv for eksempel den nye quiz om Universet, der bygger på artiklen *Universet har vokseværk* i dette nummer.

### Samarbejde med Offentlige foredrag i Naturvidenskab

De kommende år vil Aktuel Naturvidenskab bringe artikler og undervisningsrettede materialer, der knytter an til foredragsrækken Offentlige foredrag i Naturvidenskab, der livestreames til lokationer over hele landet (ofn.au.dk). Artiklen *Universet har vokseværk* i dette nummer bygger på et af disse foredrag, og du kan også glæde dig til artikler og ekstrapmaterialer knyttet til foredragene: *Magtfulde bakterier, der gæver dig*, *Yngre med årene* og *Sære sanser*.

Som alle andre offentlige arrangementer er foredragsrækken netop nu forstyrret af corona-restriktionerne, og derfor er nogle af de planlagte foredrag i forårssæsonen 2021 blevet udsat. Hvornår de tilhørende artikler og undervisningsmaterialer bliver publiceret kommer dermed til at afhænge af, hvordan foredragsprogrammet ender med at se ud. Projektet er støttet af Novo Nordisk Fonden.

## ABONNEMENTS-SERVICE

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

Kontakt os på telefon: 87 15 20 94  
E-mail: [abo@aktuelnaturvidenskab.dk](mailto:abo@aktuelnaturvidenskab.dk)

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

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

### Til nye abonnenter:

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

## OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

### Styregruppe

- **Birgitte Lyhne Broksø**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Jane Thoning Callesen**, communication manager, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Sanne Holm Nielsen**, kommunikationsmedarbejder, Aalborg Universitet
- **David Lundbek Egholm**, prodekan ved Faculty of Natural Sciences, Aarhus Universitet

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

Layout: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S

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

Oplag: 5.400



### Redaktionsgruppe

- **Birgitte Dalggaard**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Carsten Rabæk Kjær**, Aktuel Naturvidenskab
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Katherina Killander**, Københavns Universitet
- **Sanne Holm Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Signe Hansen**, Viborg Gymnasium og HF
- **Torben Jarl Jørgensen**, Roskilde Universitet

### Redaktionen:

Tlf.: 87 15 20 94

E-mail: [red@aktuelnaturvidenskab.dk](mailto:red@aktuelnaturvidenskab.dk)

Hjemmeside: [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)

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

Omslagsfoto: Billede med det lysende centrum af galaksen M61 samt spiralarmene. Data både fra Hubble og fra ESA's Very Large Telescope. Foto: ESA/Hubble & NASA, ESO, J. Lee and the PHANGS-HST Team.

Al henvendelse til:  
Aktuel Naturvidenskab,  
Ny Munkegade 120, 8000 Aarhus C  
E: [abo@aktuelnaturvidenskab.dk](mailto:abo@aktuelnaturvidenskab.dk)  
T: 87152094

# Hacking i menneskehedens tjeneste

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

**D**anskerne er et tillidsfuldt folkefærd. Og det sætter Jens Myrup Pedersen stor pris på. Men da Jens i det daglige er professor ved Aalborg Universitet og forsker og underviser i cybersikkerhed – altså, hvordan vi kan forsvare os mod ondsindede hackere i den digitale verden – er han meget bevidst om, at tilliden har en pris. For det betyder, at vi danskere nogle gange lader os narre af simple tricks på trods af, at vi generelt har et højt uddannelsesniveau.

Han illustrerer problemstillingen med en absolut ikke-digital sag fra Aarhus, som gjorde indtryk på ham, da han for 20 år siden flyttede til byen:

»Den lokale bank havde en deponeringsboks, hvor butikker kunne aflevere dagens kontante omsætning. Nogle kreative tyveknægte havde en dag listet sig til at tape deponeringsboksens indkast over med en seddel om en teknisk fejl. Bankens kunder blev så opfordret til i stedet at benytte den helt almindelige postkasse, som tyvene havde hængt op ved siden af. På trods af den ret primitive metode, var der nogle få, der faktisk hoppede på den, og de følte sig selvfølgelig meget dumme bag efter.«

## Svindel på mange niveauer

Når Jens Myrup Pedersen nævner det eksempel, er det fordi, cyberkriminalitet heller ikke behøver være teknisk avanceret og svær at gennemskue.

»En stor del af den kriminalitet, vi ser på nettet i dag, minder faktisk meget om eksemplet med bankboksen – simple tricks, som vi slet ikke kan forstå, at nogen kan hoppe på, før vi selv går i vandet«, siger Jens Myrup Pedersen. »Men som et tillidsfuldt folkefærd er det klart, at vi bliver sårbare, når alverdens kriminelle pludselig har adgang til os.«

Når alt, vi skal gøre for at udføre en handling svarende til at kaste pengene i tyvenes brevkasse, er at klikke på et link i en e-mail, skal det jo gå galt en gang imellem. Andre gange er svindlen mere sofi-



Jens Myrup Pedersen i færd med at tænke som en hacker.

Foto: Jens Myrup Pedersen

stikeret – for eksempel, når hackere installerer en såkaldt keylogger på en computer, der optager alle tastetryk, så de efterfølgende kan aflure passwords. Typisk er det på en computer, der er offentligt tilgængelig, eksempelvis på et bibliotek. Keyloggeren kan være en lille dims, der sættes i et usb-stik bag på computeren. Og hvem vil opdage det?

Den mest avancerede form for hacking er typisk rettet mod offentlige institutioner eller store virksomheder og kræver store ressourcer at udføre. Derfor er det typisk stater, der står bag, og angrebene desto sværere at forsvare sig mod.

## Tænk som en hacker

Hackernes motiver kan altså være vidt forskellige og spænde lige fra ønsket om personlig berigelse til strategiske, nationale interesser.

»Når vi skal finde løsninger på problemerne, er det for mig at se vigtigt, at vi ikke smider tilliden over bord i bestræbelserne på at forsvare os mod hackere. Det har derfor altid været en motivation for mig som forsker at udvikle teknologi, der både kan forhindre, opdage og håndtere cyberangreb. Sådan at vi kan færdes online uden at skulle mistænke alt og alle.«

Når Jens underviser sine studerende handler det faktisk meget om at lære dem at tænke og arbejde som en hacker, så de for eksempel kan opdage sikkerhedsbrister før hackerne.

»Det er selvfølgelig en overvejelse, at det jeg underviser i potentielt vil kunne bruges af ondsindede hackere i fremtiden. Men den risiko er der jo ved al viden og teknologi – den kan også vendes mod os selv.«

Derfor ser Jens det som en fornem opgave at uddanne de bedste hackere – og han står også med glæde i spidsen for det danske "cyberlandshold", der til EM i Prag i september skal konkurrere med andre lande om at være bedst til hacke – i det godes tjeneste! ■