



NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL *natur*VIDENSKAB

TEKNOLOGI BEGRÆNSER KLODENS FARLIGSTE NATURKATASTROFE

Kampen mellem kønskromosomerne
Med James Webb tilbage til selve tidens rand
Et dataanalytisk perspektiv på fædrebarsel

NR.1 - 2023 MARTS: 50 KR

Foto: A. Brauer



Algeopblomstring i bronzealderen

Ved at analysere DNA fra blågrønalger i sedimentkerner fra søen Tiefer See ved den tyske by Mecklenburg har forskere fra forskningsinstitutionen GFZ i Tyskland kunnet vise, at bronzealdermenneskene påvirkede miljøet i søen. Blågrønalger har været til stede i søen siden dens dannelse ved istidens slutning for omkring 11.000 år siden, men både mængden og antallet af arter var lavt i årtusinder. Det ændrede sig for omkring 2000 år siden, hvor blågrønalgerne antal øges kraftigt, hvilket tidsmæssigt er sammenfaldende med de første bronzealderfund nær søen. Det tolker forskerne sådan, at mennesket allerede i bronzealderen ændrede mennesket på søens næringsstofbalancer gennem landbrug.

Kilde: *Commun. Biol.* 6, 72 (2023)

Bakteriedræberen Fyn8

Da laboratorierne var lukkede under corona-epidemien sendte Clare Kirkpatrick fra Syddansk Universitet sine studerende på tur til lokale vandløb for at se, om de havde nogle interessante mikrober at byde på. Det overraskende resultat var ikke mindre end fem arter af virus, som formentlig er helt nye for videnskaben. Den første af disse er nu blevet formelt beskrevet og publiceret i *Microbiology Resource Announcements*. Den har fået det borgerlige navn Fyn8, og der er tale om en såkaldt bakteriofag, som er en virus, der angriber bakterier – i Fyn8's tilfælde bakterien *Pseudomonas aeruginosa*.

Kilde: SDU

Forklaring på naturens rynker

Vi har alle den erfaring, at når naturlige tredimensionelle strukturer – som chiler og tomater – vokser, skrumper eller udsættes for andre forandringer, opstår der rynkede mønstre på deres overflade. At forklare, hvordan disse mønstre opstår er dog en videnskabelig udfordring. Men nu har kinesiske og franske forskere udviklet en model, som kan forudsige mønstret på overfladen af såkaldte toroidale strukturer – dvs. rørformede krumme strukturer. Forskerne fandt, at rynkemønstrene primært bestemmes af to dimensionsløse parametre, som relaterer til stivheden og krumningen af systemet. Disse faktorer kan ifølge forskerne forklare de hexagonale fordybninger, som ses på dehydrerede cherrytomater og de aflange rynker på en krum, indskrumpet chili.

Kilde: *Phys. Rev. Lett.* 130, 048201



Foto: Marco Verch/CC BY 2.0

Quizzen

Hvad kalder man på fagsproget den type celledeling, der udelukkende foregår i æggestokke og testikler, hvor der dannes nye kønsceller?

A) Mitose B) Meiose C) Spermatogenese

Find svaret i artiklen *Gorillatestikler og kampen mellem kønskromosomerne*.

Et smeltet lag i Jordens dyb

En gruppe amerikanske forskere har for nylig opdaget et delvist smeltet lag i Jordens undergrund i cirka 150 kilometers dybde. Laget er en del af en ellers fast, men relativt plastisk, zone kaldet astenosfæren, som befinder sig umiddelbart under Jordens yderste lag, der er brudt op i store tektoniske plader. Astenosfærens beskaffenhed formodes derfor at have stor betydning for pladetektonikken. Underligt nok tyder forskernes data på, at det delvist smeltede lag ikke har væsentlig indflydelse på astenosfæren samlede "sejhed" (viskositet) og derfor ikke i sig selv er en vigtig faktor for, at de tektoniske plader kan bevæge sig rundt.

Kilde: *Nature Geoscience*

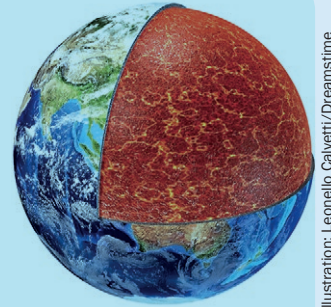


Illustration: Leonello Calvetti/Dreamstime

Brandsikker bomuld

Amerikanske forskere har fremavlet nye linjer af bomuldsplanten (*Gossypium hirsutum*), som producerer brandsikker bomuld – hvis der sættes ild til stoffet, slukkes flammerne af sig selv. Denne egenskab er tidligere kun set i tekstiler lavet fra bomuldsplanter, der producerer brune fibre, mens de nye linjer af den hvide type. Sådanne naturlige brandsikre tekstiler kan være et både billigere og mere miljøvenligt alternativ til at tilsætte brandhæmmende kemikalier til stoffer.

Kilde: *Plos One*

Verdenshandel truer intakte skove

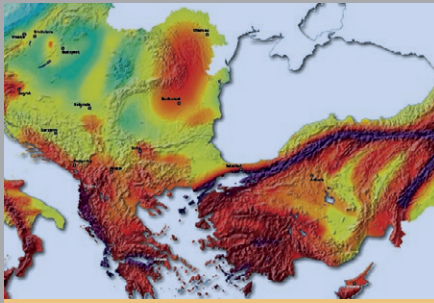
I et nyt studie har forskere undersøgt sammenhængen mellem tab af intakt skov og den globale handel med data fra perioden 2000 til 2013. Forskerne finder, at kun 39 % af tabet af intakt skov kan henføres til landbrugsrelaterede produkter såsom fødevarer og tekstiler. Mere end 60% af skovtabet er associeret med andre varer som papir, mineraler, energi og metaller, og 37% af dette gik til eksport. Forskerne opfordrer på den baggrund til mere samarbejde på tværs af de globale forsyningskæder om at beskytte verdens skove.



Foto: Colourbox

Kilde: *One Earth*, Vol. 6, Iss. 1.

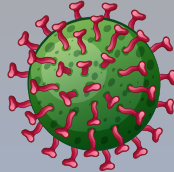
indhold



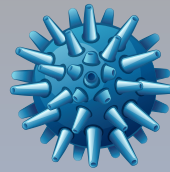
Teknologi begrænser klodens farligste naturkatastrofer

Trods århundreders forskning er det fortsat umuligt at fastslå, præcis hvornår jordskælv rammer. Men ny viden om, hvor spændinger hober sig op i jordskorpen, og med moderne teknologi til at slå alarm, kan geologerne alligevel hvert år redde tusindvis af liv.

8



Rotavirus



Herpesvirus

Tilbage til fremtiden

– tre år i pandemiernes tegn

Virusforsker Anders Fomsgaard ser tilbage på alt det, som vi har lært i løbet af tre år med COVID-19-pandemi og abekopper.

14

FORSKNING OG NYHEDER

4 KORT NYT

8 Teknologi begrænser klodens farligste naturkatastrofe

14 Tilbage til fremtiden
– En virusforskers syn på tre år i pandemiernes tegn

20 Med James Webb tilbage til selve tidens rand

25 COVID-beregning førte til løsning på gammelt datalogisk problem

27 Matematikken bag bedre forsikringer til en mere fair pris

30 Gorillatestikler og kampen mellem kønskromosomerne – Forskere er på jagt i evolutionens maskinrum

36 Et dataanalytisk perspektiv på fædrearsel

44 BAGSIDEN:
Når børn går til videnskab



Matematikken bag bedre forsikringer til en mere fair pris

Bag de forsikrings- og pensionsprodukter, de fleste af os kommer i kontakt med gennem livet, gemmer der sig en masse forsikringsmatematik. Forskningen indenfor området får nu en saltvandsindsprøjtning.

27



Gorillatestikler og kampen mellem kønskromosomerne

Hvad betyder testiklernes størrelse, kvaliteten af sæden og kampen mellem kønskromosomerne for de evolutionære mekanismer, som får arter til at opstå?

30

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.: 3036 0660 / 3036 0662 / 8715 2094

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®

Kulstof fra forbrænding ender i dybhavsgravene

Flere studier har forskere fra Danish Center for Hadal Research (HADAL) ved Syddansk Universitet påvist, at dybhavsgrave modtager alle mulige slags materialer, der lejr sig på bunden af gravene. Nu melder forskerne i tre nye publikationer, at svært omsætteligt organisk kulstof, inklusiv såkaldt black carbon, akkumuleres i store mængder i bunden af gravene. Black carbon er partikler, der dannes ved afbrænding af især fossile brændstoffer og skov; aktiviteter, hvor der også frigives CO₂. Forekomsten af black carbon er således en indikator på omfanget af fossil afbrænding. Partiklerne kan også i sig selv være med til at opvarme atmosfæren, da de bæres af vind og vejr til isdækkede områder, eksempelvis Arktis, hvor de lægger sig på isen og med deres mørke farve øger opvarmning og dermed afsmeltningen af isen.

»Og nu ser vi altså, at store mængder black carbon ender på bunden af dybhavsgrave,« siger Ronnie N. Glud, professor og leder af Danish Center for Hadal Research.

Mere konkret har forskerholdet regnet sig frem til, at der hvert år lagres et sted mellem 500.000 og 1.500.000 tons black carbon i de hadale dybhavsgrave, det vil sige den del



Foto: Annie Glud

af havbunden, der ligger på mere end seks kilometers dybde. Til sammenligning udledes der årligt 6.600.000 – 7.200.000 tons black carbon fra afbrænding af fossile brændstoffer.

Forskerne bygger deres beregninger på sedimentprøver, som de har hentet op fra forskellige dybhavsgrave, der alle er mere end seks km dybde og dermed en del af den hadale zone i havet. Den hadale zone

dækker 1 procent af havbunden. Det er ikke kun uforholdsmæssigt store mængder black carbon, der deponeres i dybet; det gør andet svært nedbrydeligt kulstof også. Faktisk viser studierne, at der per kvadratmeter begravnes mere end 70 gange mere svært nedbrydeligt kulstof i de centrale dele af gravene sammenlignet med dybhavet generelt.

Den hadale zone og dybhavsgravene udgør dermed oversete reservoirer af lagret kulstof og repræsenterer således en brik i det globale kulstofkredsløb og raten, hvormed CO₂ akkumuleres i atmosfæren.

Ifølge Ronnie N. Glud fungerer dybhavsgravene som deponi for organisk materiale. Processen faciliteres af hyppige jordskælv, som er karakteristiske for de hadale systemer. Jordskælvne fører store mængder af materiale ned i de dybeste dele af gravene og begraver det i iltfrie sedimenter. Her vil materialet akkumulere gennem årtusinder.

Fotoet viser Ronnie N. Glud på et togt i oktober 2022, hvor han i et kølerum skal til at skære en sedimentkerne op, der er hentet op fra 7595 meters dybde i South Sandwich Trench.

Birgitte Svennevig, Syddansk Universitet

Røntgeninstrument booster materialeforskningen

I en kælder på Roskilde Universitet er forskere og teknikere i skrivende stund i fuld gang med at installere et 8 meter langt røntgenapparat, som skal være med til at give materialeforskningen ved universitetet et ordentlig løft. Det er fysikeren Dorthé Posselt fra faggruppen for fysik og matematik (IMFUFA) på Roskilde Universitet, som har været drivkraften i at få anskaffet apparatet – en anskaffelse, der er blevet mulig på grund af en bevilling på 11 millioner kroner fra Novo Nordisk Fonden. Mere konkret er der tale om et instrument til såkaldt røntgen-småvinkel-spredning, hvor man undersøger materialer ved at måle, hvordan røntgenstråler spredes, når de sendes igennem en prøve hvorved man kan opnå detaljeret information om nanoskala strukturen af materialet i prøven.



Foto: Astrid Johansen

Hidtil har Dorthé Posselt og kolleger måttet rejse ud landet med prøver og udstyr for at få adgang til tilsvarende faciliteter, og det kan typisk kun lade sig gøre at få 4-5 dages måletid ad gangen. Derfor åbner den nye facilitet på RUC – kaldet RUCSAXS (som står for Roskilde University Small-Angle X-ray Scattering) for meget mere forskning på sarte prøver og

studier af processer, der forløber over længere tid. Det er ikke kun fysikere, der vil få glæde af apparatet. Dorthé Posselt, der leder det tværfaglige center FRUSTMI, forventer således, at kolleger fra andre naturvidenskabelige fagområder som kemi, molekylærbiologi og miljøbiologi også vil drage nytte af RUCSAXS. Hun forventer også, at der vil blive opbygget et livligt og internationalt miljø omkring udstyret, og at private virksomheder vil kunne bruge instrumentet. Det typiske materiale, som vil blive undersøgt med RUCSAXS, er nanopartikler der flyder rundt i en væske. Det kan eksempelvis være polymerer, cellemembraner, metal- og plastnanopartikler eller klynger af proteinmolekyler. RUCSAXS giver også, som noget særligt, mulighed for at studere nanostrukturerede overflader og ultratynde belægninger med en skræddersyet nanostruktur.

CRK, Kilde: RUC

Forskere vil overvåge permafrostens mikrober

I 2016 opstod der rygter om den sibiriske pest blandt rensdyrmader på den sibiriske halvø Jamal. Op mod 2.300 rensdyr døde, 73 mennesker blev indlagt og en 12-årig dreng døde, inden sygdommen blev identificeret som miltbrand. Dens oprindelse var optøningen af et rensdyrkadaver, et offer for et miltbrandudbrud helt tilbage fra 1941. Bakterien havde i 75 år været forsvarligt pakket ind i tundralandskabets permafrost, men da en hedebløge med – for de arktiske egne – uvante temperaturer på 25-30 grader ramte i sommeren 2016, smeltede sneen og isen, og bakterierne tødte op.

Der ligger en latent trussel i form af gamle bakterier og vira, som er gemt i den nordlige halvkugles 23 millioner kvadratkilometer permafrost, og som kan tø op i takt med, at vejret bliver varmere. Overvågning af sygdomme i arktiske områder er derfor vigtigere end nogensinde. Forskere fra Syddansk Universitet vil nu i samarbejde med kolleger i Canada kigge på forskellige muligheder, så de på sigt kan udvikle et alarmsystem, der kan registrere vira og bakterier, som dukker op af den frosne jord.



Roana de Oliveira Hansen i laboratoriet. Foto: SDU

»Vi vil gerne overvåge vand og jord i nærheden af permafrostområder – det hele i realtid, altså live,« fortæller lektor Roana de Oliveira Hansen fra NanoSYD ved SDU.

En arktisk rapport udarbejdet af NOAA Pacific Marine Environmental Laboratory i 2018 spekulerer i, at »sygdomme som den spanske syge, koppe og pest, som ellers er blevet udryddet, måske findes nedfrosset i permafrosten«, mens et fransk forskningsprojekt i 2014 varmede en 30.000 år gammel virus op, som forskeren havde fundet i

permafrosten. Den blev aktiveret, 300 århundreder efter den var frosset ned.

»Truslen er reel. Derfor er det målet på sigt at udvikle en form for alarmsystem til de arktiske områder. I første omgang er der dog tale om et netværksprojekt, hvor det handler om at lære hinanden bedre at kende og se, hvordan vi bruger hinandens kompetencer bedst,« fortæller Roana de Oliveira Hansen.

NanoSYD har igennem en række tidligere forskningsprojekter opbygget en indgående viden indenfor live-overvågning af bakterier og vira, blandt andet

testning af vand i Indiens undergrund, og har derudover udviklet bærbare systemer til påvisning af kemisk forurening.

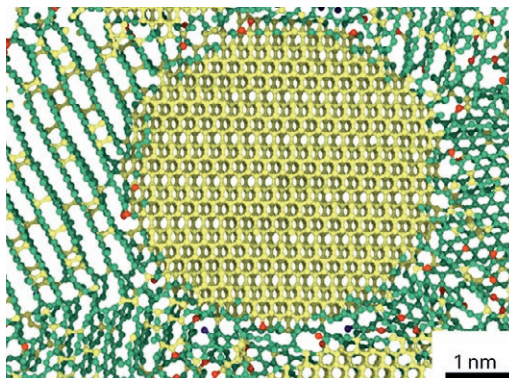
Forskerne har i første omgang planlagt to workshops, hvor de vil udpege, hvilke bakterier de vil holde særligt øje med, samt diskutere, hvilke sensorteknologier der egner sig bedst til at løse opgaven. Det er målet, at netværksprojektet skal føre til yderligere tre projekter, hvor der vil blive sat fokus på at udvikle den nødvendige teknologi.

Sune Holst, SDU Tek

Forskere laver lovende kompositmateriale

Et internationalt forskerhold med deltagelse af professor Yuanzheng Yue fra Aalborg Universitet har udviklet et nyt lovende kompositmateriale, der består af en kombination af nano-diamanter og grafen. Materialet glimrer ved at have en god elektrisk ledningsevne samtidig med, at det er ultrahårdt og stærkt.

Grundstoffet carbon kan optræde i en række forskellige strukturer (kaldet allotroper) med vidt forskellige egenskaber, og det udnytter forskerne i det nye kompositmateriale. Begge ingredienser i dette materiale består således af carbon, hvor nano-diamanter er carbon arrangeret i en kubisk krystalstruktur, mens grafen i sin rene form består af et enkelt lag carbonatomer arrangeret i et hexagonalt mønster.



En simulering af den atomare struktur af grænsefalden mellem nan-diamanter (gul) og grafen i forskernes kompositmateriale. Illustration: Efter Li et al (2023).

Diamant er som bekendt det hårdeste mineral, man kender, mens grafen har en høj elektrisk ledningsevne. Forskerne syntetiserede kompositmaterialet i en proces, hvor

de præcist kontrollerede omdannelsen af strukturløst carbon til diamant indenfor et snævert tryk- og temperaturinterval. I kompositmaterialet ligger nanodiamanterne (som er mindre end 100 nanometer i diameter) homogent fordelt i lag af grafen.

Forskerne kunne vise, at transformationen af carbon til diamant foregik på en anden måde, end når grafit (der også er opbygget af carbon) omdannes til diamant. Ifølge forskerne har deres nye kompositmateriale samlet set overlegne egenskaber i forhold til andre kendte ledende keramiske materialer eller carbon-carbon-kompositter.

CRK, Kilde: Li et al (2023), Nat. Mater. Vol. 22, pp 42-49

Vandmysterie opklaret

I bjergene i det sydøstlige Zimbabwe ligger ruinerne af den første store by i det sydlige Afrika. Stedet er kendt som Great Zimbabwe. Selve navnet Zimbabwe betyder "det store stenhus" på sproget ndebele, og faktisk har landet sit navn fra ruinbyen. Byen med kæmpe stenhuse var fra 1000-tallet hovedstaden i Shona-kongedømmet i dele af det nuværende Zimbabwe og Mozambique. Byen blomstrede, og mange mennesker har arbejdet og levet der, indtil den blev forladt i det 15. århundrede. Men hvordan har det kunnet lade sig gøre? For Great Zimbabwe ligger i et klimafølsomt område, og det har været en stor udfordring at sikre en stabil forsyning af vand til så mange mennesker og så meget kvæg.

Det mysterium har lektor Søren Munch Kristiansen fra Institut for Geoscience, Aarhus Universitet, og David Stott fra Moesgaard Museum nu afdækket i en artikel i tidsskriftet *Anthropocene* i samarbejde med kolleger fra Sydafrika, England og Zimbabwe. Forskerne



Ruinerne af oldtidsbyen Great Zimbabwe.
Foto: Frederica Sulas

har ved hjælp af laserscanning fra luften og jordbundsundersøgelser undersøgt en række store lavninger i landskabet, som lokalt bliver kaldt "dhaka". Lavningerne er ikke blevet undersøgt før, da man hidtil har troet, at de blot var opstået ved, at indbyggerne havde gravet ler til byggeri. De nye undersøgelser viser dog, at det langt fra kan være hele sandheden.

Undersøgelserne viser, at gruberne også må have været brugt til at opbevare og

forvalte vand til byen. Der er tydelige tegn på, at lavningerne er gravet, hvor de kan opsamle overfladevand, og samtidig nedslive og opmagasinere grundvand til brug i de tørre perioder af året. Forskerne fandt flere dhaka'er, end man hidtil har kendt, og de er fundet, hvor små vandløb naturligt vil løbe igennem landskabet, når det regner, eller hvor der er grundvandskilder, som løber ud. Forskerne mener derfor, at dhaka fungerede som et sindrigt system til at sikre stabil vandforsyning, basalt set ved at skabe mere overflade- og grundvand, der kunne bruges også udenfor regnsæsonen.

Befolkningen i Great Zimbabwe har således for flere århundreder siden fundet på klima-smarte metoder til opbevaring og forvaltning af vand i et klimatisk set udfordrende område med en meget varm og tør sæson, en varm og våd sæson og endelig en varm og tør vinter.

Kathrine Eg Lindgaard, Aarhus Universitet, Kilde: *Anthropocene*, Volume 40, 2022, 100357.

Dansk kvante-fremskridt

I et nyt gennembrud kan forskere fra Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet nu kontrollere to kvantelyskilder i stedet for kun en enkelt. Det gør forskerne i stand til at skabe fænomenet kvantemekanisk sammenfiltrering (entanglement), som åbner helt nye døre i kvantefysikken.

»Vi kan nu kontrollere to kvantelyskilder og koble dem med hinanden. Det lyder måske ikke af meget, men det er et kæmpe fremskridt og bygger oven på de sidste 20 års arbejde. Vi har hermed vist nøglen til opskalering af teknologien, hvilket er afgørende for de mest banebrydende anvendelser af kvantehardware,« siger professor Peter Lodahl, som har forsket i området siden 2001.

Al magien sker i en såkaldt nanochip, der ikke er meget større end tykkelsen på et hår. Den type af kvanteteknologi, som Peter Lodahls gruppe arbejder med, handler om at bruge lyspartikler, fotoner, som en slags mikrofartøjer,

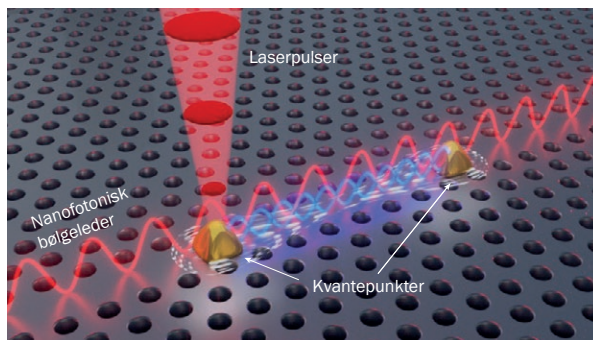


Illustration: NBI

der transporterer kvantefysiske informationer. Indtil nu har forskerne kun kunnet kontrollere en enkelt lyskilde ad gangen, da de blandt andet er ekstremt følsomme over for "støj" fra omverdenen og derfor meget svære at kopiere. Men i det nye resultat er forskerne altså lykkedes med at lave to identiske kvantelyskilder fremfor bare en.

»Sammenfiltrering betyder, at man ved at kontrollere den ene lyskilde omgående påvirker den anden. Det gør det muligt at lave et helt netværk af sammenfiltrede kvantelyskilder,

som alle taler sammen, og som man kan få til at udføre kvantebit-operationer på samme vis som bits i en almindelig computer, bare langt mere kraftfuldt,« forklarer postdoc Alexey Tiranov, som er ledende forfatter på artiklen. Det skyldes, at en kvantebit kan være både 1 og 0 på samme tid, hvilket giver en regnekraft som er uopnåelige med dagens computerteknologi. 100 fotoner udsendt fra blot én kvantelyskilde kan indeholde mere information end verdens største supercomputer kan processere.

Figuren viser to lyskilder, som hver består af et såkaldt kvantepunkt, der ligesom et atom kan udsende en og kun en foton ad gangen. De to kvantepunkter er sammenfiltret gennem den optiske kobling i en nanofotonisk bølgeleder. Det venstre kvantepunkt anslås med lyspulser fra en laser, hvorefter den udsender en foton, som fører til sammenfiltrering med det andet kvantepunkt.

Michel Skov Jensen, Københavns Universitet

Hvorfor er IDA igen kåret som Danmarks bedste fagforening?*

Den korte forklaring

Vi er de bedste til at udvikle dig i dit arbejdsliv.

Den lange forklaring

Vi tænkte nok, at du ville læse den lange forklaring. Det er nemlig et kendetegn for mange, der som dig arbejder med naturvidenskab, IT eller som ingeniør. Det med at dykke godt ned i stoffet, ligger jer ikke helt fjernt. Og heldigvis for det. Vi har masser at fortælle om.

Vi bruger i gennemsnit ca. 39 år af vores liv på at arbejde. Derfor skylder du dig selv at have et arbejdsliv, hvor du hele tiden udvikler dig. Det kan du gøre som medlem i IDA.

Har du brug for vejledning til at opnå dit fulde potentiale, står vi nemlig klar med netværk og efteruddannelse. Som medlem kan du også få gratis karriererådgivning og dermed redskaber og konkret sparring om alt fra faglig og personlig udvikling til trivsel og jobsøgning. Det gør ca. 8.000 medlemmer brug af årligt.

Det var den lange forklaring på, hvorfor 5 ud af 6 af vores medlemmer vil anbefale os til venner og kollegaer. Men der er naturligvis flere grunde til, at vi er Danmarks bedste fagforening.

Bliv medlem på ida.dk/bedst

Selvom byen stort set er jævnet med jorden ved jordskælv den 12. januar 2010 går livet videre i Port-Au-Prince, Haiti.
Foto: Shutterstock.



TEKNOLOGI BEGRÆNSER KLODENS FARLIGSTE NATURKATASTROFE

Trods århundreders forskning er det fortsat umuligt at fastslå, præcis hvornår jordskælv rammer. Men ny viden om, hvor spændinger hober sig op i jordskorpen, og med moderne teknologi til at slå alarm med lysets hast, kan geologerne alligevel hvert år redde tusindvis af liv.

Om forfatteren:
Niels Halfdan Hansen
er geolog og videnskabsjournalist.
formidling@gmail.com

Sammen med sine arbejdskammerater har 23-årige Oranel Mettelus netop afsluttet opførelsen af et hus i den velhavende enklave Pétion-Ville i Haitis hovedstad Port-au-Prince.

Pludselig ryster jorden, og bygningen styrter i grus omkring dem. Oranel bliver fanget under resterne af villaen, indtil en bulldozer dagen efter får ham gravet ud. Efter sin redning begiver Oranel sig gennem Port-au-Prince mod familiens hjem. Men i stedet for den sædvanlige time, varer turen to døgn. Og da han endelig når frem, ligger huset i ruiner – og under murbrokkerne er hans forældre og seks søskende omkommet. Kun en lillebror på 15 er i live.

Jordskælv, der ramte Haiti på øen Hispaniola i Caribien den 12. januar 2010 og kostede næsten hele Oranel Mettelus' familie livet, er gået over i historien som et af klodens mest dødbringende med godt 220.000 ofre ifølge FN. Så store tal hører heldigvis til sjældenhederne, men jordskælv er faktisk uden sammenligning den farligste naturkatastrofe på kloden.

Forskerne kender faren

I gennemsnit omkommer 37.500 hvert år, og dermed kræver jordskælv flere liv end alle andre typer naturkatastrofer tilsammen. Derudover kommer flere end seks millioner mennesker hvert år til skade på grund af et jordskælv, mister

hus og hjem eller må evakueres i en længere periode. Men faktisk ramte skælv ikke Haiti helt uden forvarsel.

For eksempel fremlagde fem seismologer i 2008 en artikel på den 18. caribiske geologiske konference i Den Dominikanske Republik, hvor den forkastning med det poetiske navn Enriquillo beskrives som "a major seismic hazard", altså en alvorlig jordskælvsrisiko. Og netop Enriquilloforkastningen brød op allerede to år senere og skabte katastrofen. Forkastningen, der løber østvest gennem Hispaniola, indgår i et brudsystem, som adskiller to af jordens skorpeplader, nemlig den nordamerikanske og den caribiske. Den type

store brudsystemer, hvor forkastningerne løber tæt under overfladen, er særligt farlige. Derfor har de fået stor videnskabelig opmærksomhed, og geologerne har efterhånden fået godt styr på, hvor de ligger, og hvor farlige de er, forklarer Bo Holm Jacobsen, geofysiker og lektor ved Institut for Geoscience på Aarhus Universitet.

»Videnskaben er kommet meget langt med at forudsige den gennemsnitlige jordskælvsrisiko over en periode på 100-200 år. For eksempel tillader stadig flere og mere præcise GPS-stationer os, der forsker i jordskælv, i stor detalje at følge, hvordan spændingerne mellem pladerne bygges op. Dermed ved vi nu meget præcist, hvor meget energi, der så at sige sættes i banken i de enkelte brudzoner hvert år.«

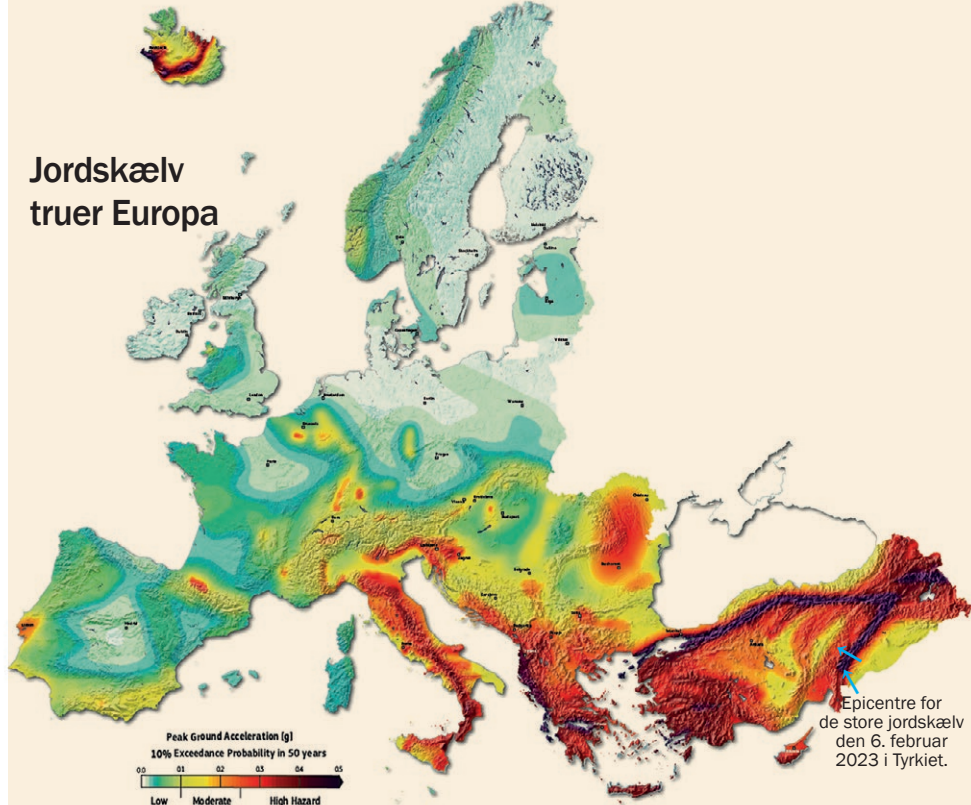
Alligevel var ingen i praksis forberedt på de enorme ødelæggelser, skælvet medførte. For det er ikke nok at udpege en forkastning som en risiko indenfor en periode på for eksempel 100 år, 50 eller 20 år. Før en varsling er brugbar, kræver det, at befolkning bliver advaret på en måde, så de ved, præcis hvad de skal gøre og hvornår.

»Udfordringen er at forudsige, præcist hvornår energien kommer til udbetaling i form af et jordskælv,« siger Bo Holm Jacobsen. »Det kan sammenlignes med gradvist at bøje en lasagneplade. Vi ved, at den vil knække på et tidspunkt. Men den knækker på nye og uforudsigelige måder hver gang. Sådan er jordskælvszonerne i endnu højere grad.«

Data kortlægger risikoen

For at udpege stederne med størst risiko og indsnævre tidsvinduet så meget som muligt, har seismologerne, der ofte er geologer eller geofysikere, indsamlet en vifte af nye data over de seneste årtier. Blandt leverandørerne er nu satellitter, der kan hjælpe forskerne med at overskue store områder og samtidig måle de samme parametre igen og igen. På den måde bliver det muligt at sammenligne selv små ændringer over lang tid.

Jordskælv truer Europa



EFEHR, European Facilities for Earthquake Hazard and Risk, er et non-profit netværk af europæiske geofysiske institutioner, som arbejder for at udbrede viden om risikoen for jordskælv i Europa og omkring Middelhavet. EFEHR driver bl.a. en avanceret model for jordskælvsrisiko kaldet ESHM20, 2020 European Seismic Hazard Model. Modellen kan bl.a. beregne det forventede niveau af jordrystelser som følge af et fremtidigt jordskælv. Det sker med afsæt i jordskælvs-historien de seneste 1.000 år, viden om aktive forkastninger, hastigheden af deformation af jordskorpen og målinger af jordrystelser ved tidligere jordskælv.

Farverne på kortet beskriver parameteren Peak Ground Acceleration (PGA), altså hvor voldsomt jorden kan bevæge sig. PGA er en god indikator for, hvor store skader et skælv medfører. De værdier, der er afbildet på kortet, når helt op over 0,5 g, hvor 1 g er tyngdeaccelerationen på jordens overflade. På kortet er områder med lav risiko farvet i hvid til grøn, områder med moderat risiko er farvet i gul til orange, og områder med høj risiko er farvet i mørkerød til lilla. Ifølge EFEHR er Tyrkiet, Grækenland, Albanien, Italien og Rumænien landene med den største risiko i Europa, efterfulgt af de resterende Balkanlande.

Se mere på efeher.org

To kraftige jordskælv i 2023:

Den 6. februar 2023 ramte to voldsomme jordskælv på Mw 7,8 og 7,7 det sydlige og centrale Tyrkiet samt det nordlige og vestlige Syrien. Syv døgn senere passerede antallet af omkomne 33.000 og blev ved med at stige. Det gør skælvne til de mest dødbringende på kloden siden skælvet i Haiti i 2010. Regionen, hvor skælvne skete, har været tektonisk stille de seneste 100 år med blot tre skælv over Mw 6, men blev alligevel betragtet som højrisikoområde af jordskælvsforskere. Skælvne udsprang nemlig tæt på punktet, hvor hele tre tektoniske plader mødes: den anatolske, den arabiske og den afrikanske.

Satellitter er interessante, fordi de plader, Bo Holm Jacobsen omtaler, altså er sektioner af selve jordskorpen. Sektionerne – skorpepladerne – bevæger sig rundt mellem hinanden som isflager på havet, drevet af bevægelser i Jordens indre og af deres egen vægt. Plader udgør både kontinenter og havbund, og særligt på grænsen mellem pladerne, hvor de enten presser sig ind over hinan-

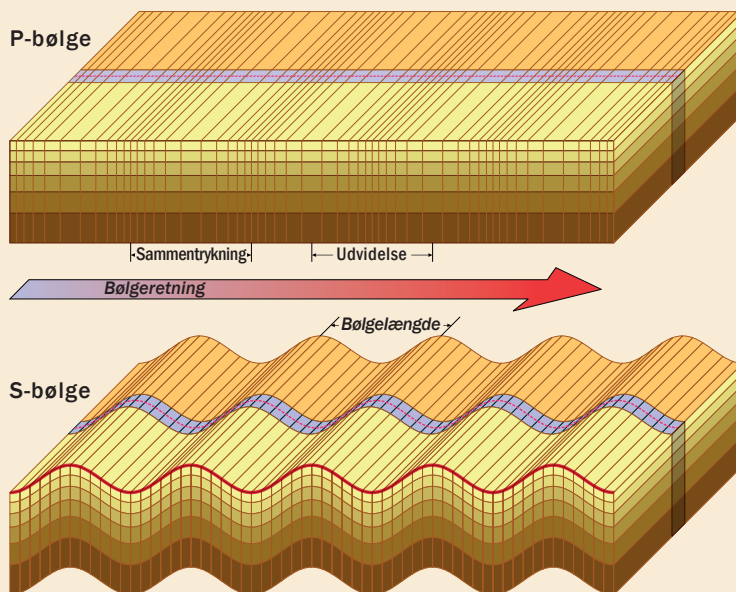
den eller passerer forbi hinanden, opstår der spændinger og dermed jordskælv.

I praksis betyder det, at op mod 80 procent af verdens jordskælv forekommer omkring Stillehavet, hvor de to typer pladegrænser er udbredt. Jordskælv på Hispaniola er tilsvarende koblet til en brudzone, hvor den nordamerikanske og den

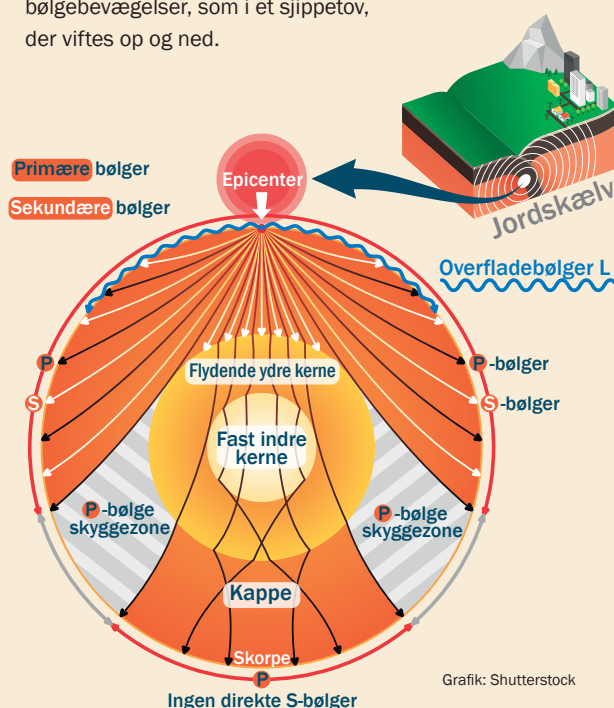
Jordskælv afslører klodens opbygning

Geologerne bruger rystelserne fra jordskælv, de såkaldte jordskælvsbølger, til at kigge ned i jorden. Først fastlægger de styrken og stedet på overfladen, hvor jordskælvet udsprang, kaldet epicenteret. Derefter kan målinger af rystelserne ved forskellige jordskælvs-målere - seismometre - rundt om i verden omregnes til, hvordan rystelserne har bevæget sig igennem jorden og dermed, hvilke typer af materialer de har passeret igennem. Teknikken kaldes seismologi.

Bølgerne fra store jordskælv breder sig igennem Jorden som tredimensionelle ringe i vandet. Der er to grundlæggende forskellige bølger. P-bølger, der udbreder sig ved at trække i og trykke på klippen som en harmonika, og S-bølger, der udbreder sig ved bølgebevægelser, som i et sjippetov, der viftes op og ned.



Grafik: AN & Shutterstock



Grafik: Shutterstock

For både P- og S-bølger gælder det, at der er zoner på kloden, som ligger i en slags skygge, hvor bølgerne ikke ankommer direkte. De skyggezoner afslører Jordens sammensætning og tilstandsformen af jordens forskellige lag for geologerne. Fx er det kun ved vinkler mindre end 105 grader mellem epicenter og seismograf, at P-bølgerne ankommer direkte efter en tur gennem skorpen og kappen. Ved større vinkler må de en tur gennem kernen. Det afbøjer bølgerne, så de først når jordoverfladen igen ved vinkler større end 140 grader. Det forhold giver forskerne mulighed for at regne sig frem til kernens størrelse og til forskellen i massefylde mellem kappen og kernen. Direkte S-bølger måles derimod udelukkende ved vinkler mindre end 105 grader. Det fortæller forskerne, at den ydre kerne må være flydende, fordi S-bølger ikke kan udbrede sig i væsker. Nogle af den danske seismolog Inge Lehmann's bedrifter var at foreslå den indre kerne, samt at vise at der ikke er "perfekt ro" i de såkaldte skyggezoner.

caribiske tektoniske plade bevæger sig forbi hinanden.

I perioden mellem to jordskælv, arbejder pladerne i forhold til hinanden. Det får dem til at deformere ved at fortykkes, krølle, bule eller slå revner som forløber for det næste skælv, hvor spændingerne udløses igen. Og de bevægelser kan for eksempel jordstationer se med hjælp fra GPS-satellitter, når GPS-stationen flytter sig eller afstanden mellem to gps-stationer ændres. GPS er dog bedst til vandrette bevægelser og knapt så god til lodrette. Her kommer andre satellitter på banen, for eksempel satellitter, der bruger

radar til at analysere jordoverfladen, som de europæiske Sentinel-1. En Sentinel-1-satellit dækker hele kloden på 12 dage og kan måle med en præcision på 5 x 5 meter. Ved at lade computere sammenligne data fra overflyvning efter overflyvning kan geologerne se både de meget langsomme bevægelser, der finder sted, mens spændingerne bygger op, og effekterne af selve jordskælvet, der udløser spændingerne igen.

Truende forkastninger udsponeres

Men selv om spændingsopbygninger kan følges i detaljer, er det stadig langt fra nok til en varslings, hvor for-

skerne med rimelig sikkerhed kan pege på, at et jordskælv rammer om uger eller dage. Og måske bliver det aldrig muligt, vurderer Bo Holm Jacobsen.

»En egentlig forudsigelse af jordskælv tror jeg ikke på. Ligesom med hvornår lasagneplader knækker, vil præcise forudsigelser af jordskælv være tæt på umulige«, siger han. Til gengæld kan alene viden om, hvor jordskælv formentlig rammer, redde mange liv. Den indsigt kan nemlig indgå, når arkitekter designer boliger i udsatte områder, og når myndighederne installerer varslings-systemer til akut alarmering.

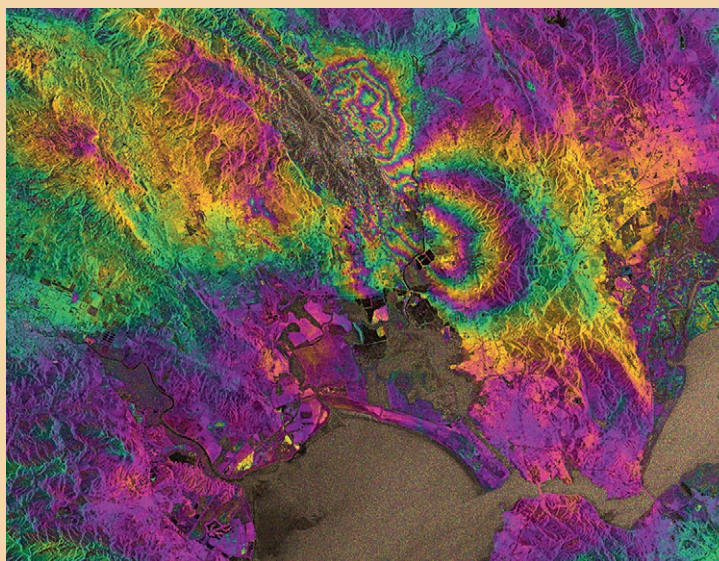
Interferogrammer viser før og efter

Satellitter sikrer geologerne det store overblik, så de for eksempel kan kortlægge de præcise bevægelser under et jordskælv.

Satellitter bidrager til forskningen i jordskælv på flere måder. En af dem er at sammenligne sæt af meget detaljerede satellitbaserede kort over jordoverfladen optaget på forskellige tidspunkter. Resultatet er et såkaldt interferogram, der viser forskellen mellem de to kort som et enkelt kort. Interferogrammet viser altså for eksempel, hvor store bevægelser, der skete ved et jordskælv, eller det kan vise, hvordan spændinger langsomt bygger op mod det næste skælv.

Den 24. august 2014 blev Napa Valley i Californien ramt af det største jordskælv i 25 år, som påvirkede et område på mere end 30 x 30 km.

Europas Sentinel-1A-satellit, der udsender og modtager radarsignaler, var sendt op få måneder før og havde passeret over Napa Valley både den 7. og 31. august. Ud fra de to billeder er der beregnet et interferogram, som viser, hvordan jorden



bevægede sig under jordskælvet. Deformation på jorden forårsager faseændringer i radarsignalet, der vises som regnbuemønstre, for eksempel de runde former omkring Napa-dalen i den centrale del af billedet. Hver farvecyklus svarer til en bevægelse på 28 mm, og den maksimale bevægelse er på mere end 10 cm. Interferogrammet er mest intenst omkring forkastningen, som derfor kunne kortlægges i detaljer. Det var for øvrigt en forkastning, der

ikke blev betragtet som farlig før jordskælvet den 24. august 2014.

Sentinel-1-satellitten kan se gennem både mørke og skyer og har gjort en kæmpe forskel for studiet af jordskælv. I 2016 fik Sentinel-1A selskab af Sentinel-1B, så dækningen blev fordoblet. Sentinel-1B blev dog pensioneret i august 2022 på grund af en fejl i strømsystemet. Bl.a. derfor bliver Sentinel-1C sendt op i første halvår af 2023.

»Når bruddet sker, udbreder rystelsen sig med nogle km i sekundet,« siger Bo Holm Jacobsen. »Seismometre måler rystelserne øjeblikkeligt nær bruddet. Dermed kan der udsendes varsel direkte til personer i området, så de har nogle sekunder til at kaste sig i sikkerhed under borde og lignende.«

Tidsforskellen skyldes, at varslet i modsætning til rystelserne bevæger sig med lysets hastighed eller 300.000 km i sekundet. For et skælv for eksempel langs Japan-graven betyder det, at advarslen når frem til hovedstaden Tokyo over et minut før rystelserne. Det giver myndighederne tid til at slukke for el og gas, der kan forårsage kortslutninger og eksplosionsagtige brande, bremse tog og sætte alle trafiklys på rødt, så bilerne stopper.

Men før sådan en varsling er effektiv, skal der placere seismometre meget tæt på det sted, hvorfra skælvet udspringer. Det kan enten være på landjorden, på havbunden eller endda i et borehul ned gennem selve brudzonen. Det har japanerne eksperimenteret med siden 2007 øst for østaten, hvor Stillehavspladen langsomt kryber ned under den plade, som Japan ligger på.

Projektet har fået navnet NanTro-SEIZE og foregår fra Japans eget superavancerede boreskib, Chikyū, der betyder jord. Chikyū har gentagne gange senest i 2019 boret igennem aktive jordskælvszoner og installeret avanceret observationsudstyr i dybe borehuller.

Udstyret tillader direkte observation

af tryk, bevægelser og minimale rystelser, som afslører, hvordan spændingerne, der i sidste ende udløses som jordskælv, bygger op. Og som en delikatesse for forskerne, så er målinger op til 100.000 gange mere præcise, når de foregår i et borehul, end hvis udstyret er placeret på et skib eller på havbunden. Samtidig er hele herligheden koblet til land i realtid – alle mistænkelige bevægelser registreres altså med det samme.

Apps afbøder jordskælv

Varslerne går dog ikke kun til myndighederne, som slukker el og standser tog. I USA ryger de også til befolkningen gennem trådløse varslingsbeskeder, for eksempel ved at alle mobiltelefoner koblet til bestemte mobilmaster modtager et varsel som en popup eller ved,

Japans boreskib studerer klodens største forkastninger

Jo bedre geologerne forstår, hvad der sker langs klodens allerstørste forkastninger, des bedre kan de forudsige jordskælv. Men de fleste af den type forkastninger ligger under havet, hvor en havbundsplade dykker ned i jordens kappe og skaber en dybhavsgrav. Bl.a. derfor har jordskælvsplagede Japan valgt at bygge verdens nok mest avancerede boreskib, Chikyū, der flere gange har boret ned gennem den enorme forkastning øst for østaten, der forårsagede det katastrofale skælv og den dødbringende tsunami 11. marts 2011.

Chikyū er udstyret som intet andet boreskib med helikopterplatform, kraner i forskellige størrelser og et 30-etager højt stillads, hvorfra boregrej sænkes igennem skroget mod havbunden. Skibet har ikke færre



Foto: © JAMSTEC, IODP. www.jamstec.go.jp

end syv skruer, der overflødiggør et rør, og holder Chikyū præcist over borehullet. Det sker med hjælp fra computere, gps-satellitter og små radiosendere på havbunden.

Systemet er så effektivt, at skibet kan holde sig helt i ro i tre til fire knob strøm, i vindhastigheder op til stormstyrke og i 4,5 meter høje bølger.

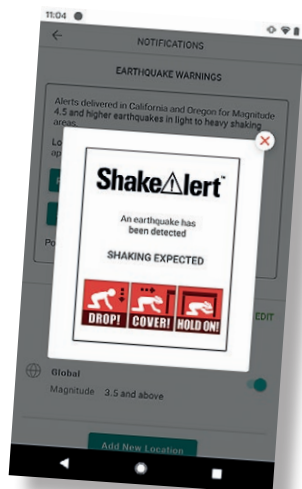
Undervisningsmateriale: Forløb om jordskælv og bølger

Materiale til forløb om jordskælv og bølger med udgangspunkt i foredraget *Den inderste kerne* og udvalgte artikler fra *Aktuel Naturvidenskab*. Find det under aktuel.naturvidenskab.dk/undervisningsmateriale/naturgeografi

Artikel:

Søren Gregersen: Kan jordskælv forudsiges? *Aktuel Naturvidenskab* nr. 4-2000.

at befolkningen installerer en bestemt app, for eksempel MyShake. De første erfaringer fra rigtige varslinger viser, at op til 42 % af befolkningen på den måde bliver advaret direkte.



Appen MyShake er i drift langs USA's vestkyst. Hvis seismometre fx ud for kysten eller langs den berøgtede San Andreas-forkastning registrerer et jordskælv, der er kraftigt nok, så slår appen øjeblikkeligt alarm. Screenshot: UC Berkeley Seismological Laboratory. Læs mere på: myshake.berkeley.edu

»MyShake er i drift langs USA's vestkyst. Dette er meget effektivt i områder, hvor bygningerne er bygget til at modstå jordskælv, dvs. i rige lande,« siger Bo Holm Jacobsen.

Og netop fordi et varsel kun tillader en brøkdel af beboerne i en storby at nå ud på gaden, er for eksempel 87 % af bygningerne i Tokyo i dag konstrueret til at modstå et stort jordskælv.

Den grundlæggende idé er, at bygningen flekser med rystelserne i stedet for at synke i grus. Det sker for eksempel gennem bløde og elastiske byggematerialer, som tillader bygningen at svaje. Mange huse har desuden et fundament for eksempel med lag af gummi, der opsuger rystelsernes energi, eller tillader jorden at skvulpe under huset, uden bygningen selv bevæger sig. En tredje teknik arbejder med et netværk af støddæmpere på kryds og tværs mellem de bærende elementer af huset.

I dag koster jordskælvssikrede bygninger mellem 10 og 20 %

mere end almindelige bygninger. Det lyder som en god investering, men efter et katastrofalt skælv skal bygningerne ofte rives ned alligevel. Jordskælvssikring betyder nemlig blot, at de ikke styrter sammen. Lidt som en cykelhjelm skal kasseres efter et styrt, også selv om den ikke gik i stykker. En del af beskyttelsen ligger nemlig i, at interne strukturer bryder sammen. Derfor står bygningen stadig efter første skælv, men ikke nødvendigvis efter det næste.

Men i mange fattigere områder af verden er bygningerne endnu ikke bygget med jordskælvssikring. »I stedet styrter de sammen ved store jordskælv. Så nytter det ikke noget at kaste sig ind under et bord, og så nytter et varsel på for eksempel ti sekunder ikke meget,« understreger Bo Holm Jacobsen.

Han håber dog, at mange flere områder i verden får råd til at bygge jordskælvssikrede bygninger over de kommende 20 år. »Når det er på plads, vil systemer som MyShake blive meget mere nyttige – også globalt,« slutter han. ■

hygge **kreativitet** algoritmer kvinder
programmering **Computer Science** kryptering
kunstig intelligens

IT Camp for piger

11. - 12. marts 2023

software fællesskab **udvikling** rollemodeller
læring **IT** SCRUM studerende
inspiration



Overvejer du, hvad du skal læse efter studentereksamen og sabbatåret? På IT Camp for piger kan du undersøge, om en IT-uddannelse er noget for dig.

Læs mere og tilmeld dig på sdu.dk/itcampforpiger

TILBAGE TIL FREMTIDEN

– En virusforskers syn på tre år i pandemiernes tegn

Virusforsker Anders Fomsgaard ser tilbage på alt det, som vi har lært i løbet af tre år med COVID-19-pandemi og abekopper.

Af Kristian Sjøgren,
videnskabsjournalist.
ksjoegren@gmail.com

Om forskeren



Anders Fomsgaard er uddannet læge fra Københavns Universitet 1982, dr.med. fra Københavns Universitet i 1990. I dag er han professor i infektionsmedicin ved Syddansk Universitet og leder af Virus Forskning & Udvikling (ViFU) ved Statens Serum Institut, hvor han forsker i virus-genetik og immunitet.

Anders Fomsgaard holder 7. marts 2023 foredrag om virus i serien Offentlige Foredrag i Naturvidenskab. Denne artikel er lavet i den forbindelse som led i projektet Brobygning på første række finansieret af Novo Nordisk Fonden.

I oktober 2019 landede en ny bog på hylderne i de danske boghandler. Dengang løftede de færreste nok øjenbrynene over titlen *Det er bare en virus* af overlæge og virusforsker Anders Fomsgaard fra Statens Serum Institut. Skæbnen ville dog alligevel, at blot én måned senere begyndte det, der endte med at lukke hele verden ned i to år og gøre virus til noget, som vi alle sammen snakker om og har en holdning til.

Når Anders Fomsgaard kigger tilbage på de tre år, der er gået, siden en syg flagermus via et madmarked i Wuhan smittede én enkelt person med coronavirus, til at mange millioner mennesker i dag har mistet livet i pandemien, mener han, at vi har lært mere om smittespredning, virus, vacciner, gensekventering og forebyggelse, end det overhovedet ville have været muligt uden en verdensomspændende pandemi.

Det gælder ikke bare forskere og læger, men os alle sammen, og det kan forhåbentlig ruste os til den næste pandemi, idet COVID-19 langtfra er den sidste af slagsen, og fordi de formentlig også vil komme oftere i fremtiden.

»I dag er alle med på, hvad vi taler om, når vi taler om virus. Jeg ville ønske, at det skyldtes, at folk har læst min bog, men det er nok ikke hele årsagen. Det sprog, som vi forskere har talt i årtier, er gået hen og blevet hverdagsprog, og alt fra cykelryttere til standupkomikere har været i Aftenshowet og talt med om helgenomsekventering, PCR-sensitivitet og omikronvarianter. To et halvt år med pandemien har lært os, at hvad der sker på et marked i en "lille kinesisk landsby" med 10 millioner indbyggere kan påvirke os alle sammen,« siger Anders Fomsgaard, som siden udgivelsen af første udgave af sin bog i 2019 har måtte opdatere den til også at inkludere kapitler om COVID-19 og abekopper, og så er der også blevet plads til et kapitel om diarré i Afrika.

Virus skal gennem to flaskehalse for at starte en pandemi

Ifølge Anders Fomsgaard er det fantastisk på mange forskellige måder, at den brede befolkning er blevet bevidst om, hvordan virus har potentialet til at påvirke vores liv i langt større omfang end en sæsonbetinget forkølelse.

Fra pandemien med COVID-19

lærte vi, at der kan opstå varianter af en virus, og at en helt ny virusvariant, der opstår i for eksempel Sydafrika, 10 dage senere kan smitte til højre og venstre til lyden af en tung bas ved en supersprederbegivenhed på Rådhuspladsen.

Vi har også lært, hvordan virus opstår, og hvordan vi kan vaccinere mod dem, hvordan vi kan overvåge deres spredning, og hvordan vi kan beskytte os selv og andre mod smitte.

Går vi tilbage til udgangspunktet, tog hele denne historie sin begyndelse på et marked i Wuhan, hvor en person blev smittet med coronavirus fra en flagermus. Og netop når vi taler om nye potentielle pandemier, står det efterhånden klart, at de næsten altid har deres begyndelse i smittespredning fra et vildt dyr til et menneske. Virus skal for at kunne lave en pandemi gennem to flaskehalse, som det i en moderne verden bliver lettere og lettere for virus at komme igennem. Sådan var det også i Wuhan.

For det første skal virus smitte fra et vildt dyr til et menneske. Det kan enten ske direkte eller gennem en mellemvært, som kan være et hus-

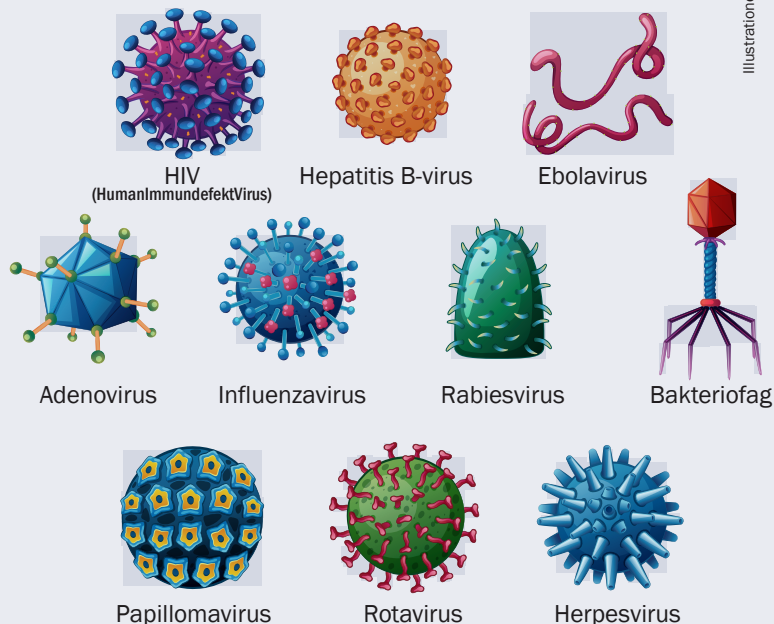
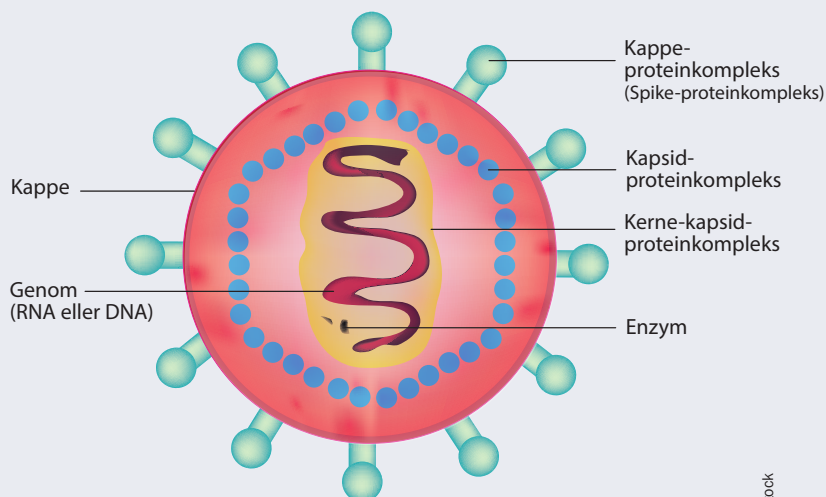
Fakta om virus

Virus er meget små – i størrelsesordenen nanometer. Hvis en celle blæses op til vandmelonstørrelse, vil en virus til sammenligning være som en ært. Virus har været kendt siden 1892, hvor russeren Dimitrij Ivanovskij opdagede et "smitstof", der kunne trænge igennem et filter, der holdt bakterier tilbage.

Da en definerende egenskab for en levende organisme er, at den kan reproducere sig selv, er virus i den forstand ikke en livsform. Virus er blot en beholder af protein med en stump genetisk kode indeni. Denne proteinbeholder kaldes kapsid. Virus kan kun reproducere sig selv ved at trænge ind i en celle på en levende organisme og via sin genkode overtage kontrollen af cellens maskineri, så der bliver produceret flere virus. Den genetiske kode i virus kan enten bestå af RNA eller DNA, og det giver grundlag for en overordnet inddeling af virus i RNA- og DNA-virus. De gamle, kendte virus har DNA som genetisk kode, mens nye virus har RNA. Nogle virus har også en ydre membran, kaldet en kappe, og det er vigtigt i forhold til at forebygge sygdom, da man let kan ødelægge virus med sæbe eller håndsprit, hvis de har en sådan membran.

Omkring 8 procent af menneskets DNA består faktisk af såkaldt endogene retrovirus. Retrovirus har den egenskab, at de kan kopiere deres virus-RNA om til DNA inde i vores celler og derefter sætte dette DNA ind i vores kromosomer, således at cellen for altid er inficeret og virus-DNA'et vil gå i arv til vores børn. Nogle endogene retrovirus har været til stede på Jorden i flere hundrede millioner år.

Kilde: *Det er bare en virus* af Anders Fomsgaard



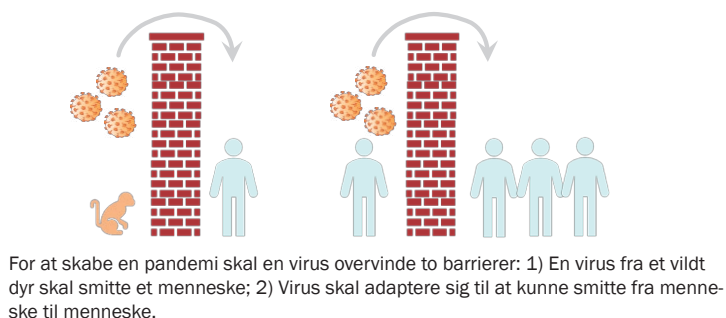
Illustrationer: Shutterstock

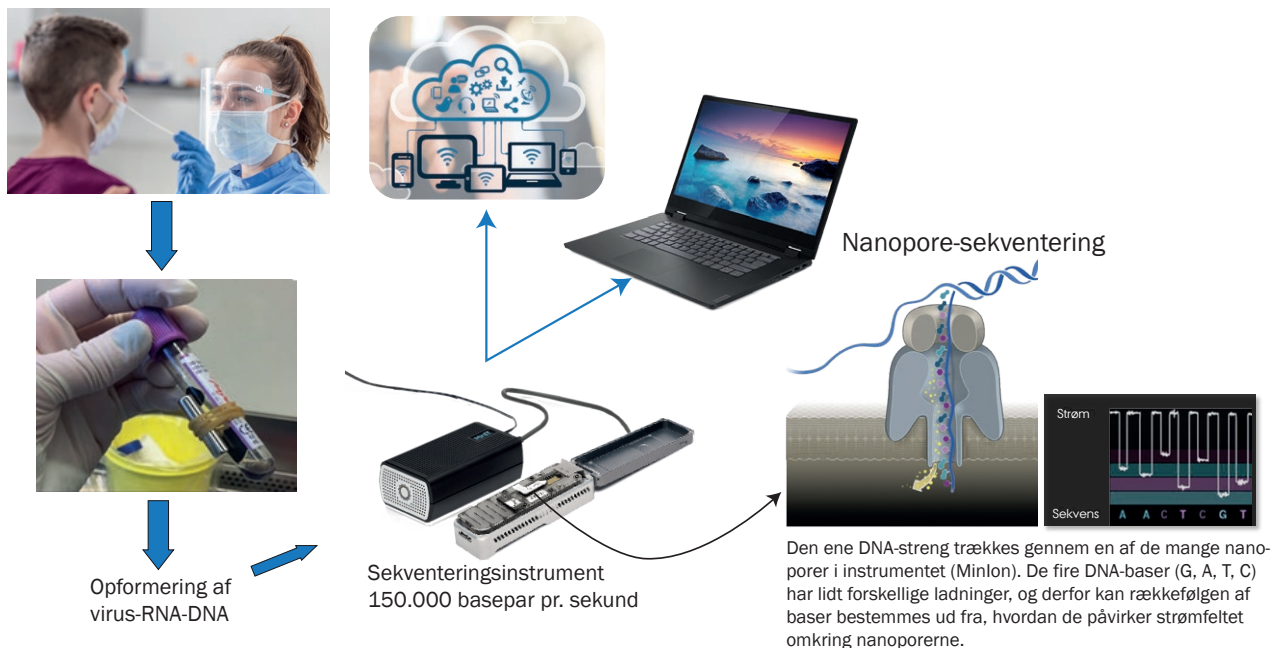
dyr. I takt med, at vi bliver flere og flere mennesker på planeten, og vi blandt andet rydder skov for at lave plads til marker, kommer vi tættere og tættere på de vilde dyr. Når vi som eksempel rydder regnskov i

det centrale Afrika, skal millioner af flagermus og deres virus finde et nyt sted at leve, og de kan finde på at slå sig ned i storbyer i Vestafrika, hvilket bringer flagermusenes virus faretruende tæt på os mennesker.

På den måde gik blandt andet ebola fra at være en virus, som florerede i isolerede landsbyer, til at flytte ind i millionbyer.

For det andet skal virus "lære" at smitte fra mennesker til mennesker. Nogle virus har lært at smitte mennesker, men har endnu ikke knækket koden til at være aktive deltagere i supersprederbegivenheder. For eksempel kan man som menneske godt få fugleinfluenza, der kommer med en risiko for at dø på 90 %, men man kan (endnu) ikke smitte sin kone og børn med sygdommen.





Figuren viser, hvordan man med moderne udstyr let og hurtigt kan identificere virus i felten. Virus-DNA fra en pødestik kan oprenses i et reagensglas i hånden, fordi DNA/RNA vil hænge fast på nogle mikroskopiske magnetiske kugler i reagensglasset og fastholdes der med en lille stangmagnet med en elastik. Virus-DNA opformeres med enzymer og mærkes, inden de dryppes ned i sekventeringsinstrumentet. DNA-gen-sequensen bestemmes ved hjælp af nanoporer i instrumentet og videresendes til en mini-computer uden skærm og tastatur. Den færdige sekvens kan enten sendes elektronisk via skyen til et laboratorium, eller virus gen-sequensen kan identificeres på en almindelig bærbar PC.

»Der findes i naturen estimerede 600.000 virus, som vi ikke har oplevet endnu, men som har potentialet til at springe fra dyr til mennesker. Nogle af dem kan komme igennem den ene flaskehals og smitte mennesker, mens andre kan komme gennem begge flaskehalse og blive udgangspunktet for smitte mellem mennesker. Globaliseringen gør samtidig, at de kan sprede sig med en hastighed, som ikke har været mulig førhen. Vi er i dag otte milliarder mennesker på planeten, og vi rejser rundt som aldrig før, samtidig med at vi i et land som Danmark død og pine skal have friske jordbær i januar, og de bliver dyrket i Nordafrika. Det kræver, at der hele tiden er transport mellem landene, og det giver virus rigtig gode betingelser for at kunne sprede sig. Derfor kan vi også kun forvente, at vi kommer til at se endnu flere pandemier i fremtiden,« forklarer Anders Fomsgaard.

Abekopper blev spredt via pride-events

Når virus skal gennem flaskehalse, skal de mutere i specifikke regioner af deres arvmasse. Tager vi som eksempel et kig på abekopper, skete der på et tidspunkt for ganske

få år siden nogle mutationer i arvematerialet, som gjorde det lettere for virus at formere sig i menneskeceller. Helt specifikt muterede virus, så nogle af vores anti-virus-enzymmer ikke i samme omfang kan "nakke" abekoppervirus, og det giver nu virus gode muligheder for at sprede sig i mennesker

Kombinerer man det med supersprederbegivenheder, hvilket i tilfældet med abekopper har været en lang række pride-events, står man med en truende pandemi mellem hænderne. Anders Fomsgaard glæder sig over, at den pandemi, som udelukkende forekom blandt mænd der har sex med mænd og mange kontakter, ser ud til snart at være gået i sig selv igen. Men det var slet ikke sikkert, at det ville være gået den vej.

»Den skal nok komme tilbage på et senere tidspunkt, når virus er muteret noget mere og derved får muligheden for at være mere smitsom. Det gælder specielt, når virus får muligheden for at smitte ved supersprederbegivenheder. Jo flere mennesker, der er smittet med virus, jo bedre er dens muligheder

for at opnå nye mutationer, der er gavnlige for virus, og jo lettere bliver det for virus at smitte,« siger Anders Fomsgaard.

Netop når det kommer til abekoppervirus, har den fundet ud af at komme gennem de to førnævnte flaskehalse og kan faktisk også smitte andre dyr. Det betyder, at abekopper også kan smitte rotter, og i en dyrebutik i Texas har man for eksempel set, at en gambiansk kæmperotte har smittet andre dyr og overført virus til mennesker med abekopper.

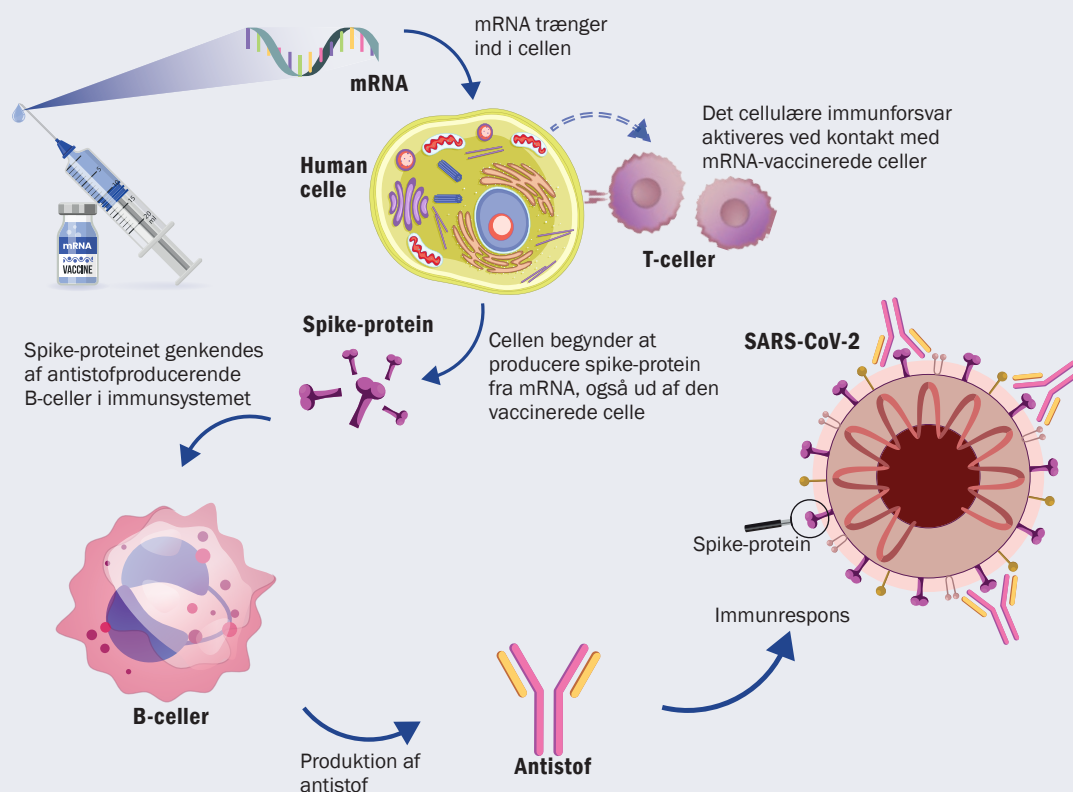
»Når først virus kan det, bliver dens muligheder for at sprede sig endnu bedre. Det er godt for virus, men det er rigtig uheldigt for os,« siger Anders Fomsgaard.

COVID-19 satte skub i vaccineudvikling

COVID-19-pandemien og abekopper har indenfor de seneste år lært ikke bare den brede befolkning, men også forskere, en hel masse om virus, som fremadrettet er helt uvurderlig viden, hvis man spørger Anders Fomsgaard.

For det første har COVID-19-pande-

Genetiske vacciner



Illustrationer: Shutterstock samt Aktuell Naturvidenskab

mRNA-teknologi sendte helt nye typer af vacciner på markedet i kampen mod COVID-19-pandemien. Den første af vaccinerne var vaccinen fra Pfizer/BioNTech, der blev godkendt til brug i Europa i januar 2021. Det samme gjorde den anden vaccine, den fra Moderna.

En mRNA-vaccine indeholder messenger RNA (mRNA) med den genetiske kode for spike-proteinet i coronavirus. Den genetiske kode for spike-proteinet leveres ind i kroppens celler, hvor den midlertidigt vil blive brugt af cellerne til at producere spike-proteinet.

Når cellerne producerer spike-proteinet, bliver det synligt for kroppens immunforsvar, som opfatter spike-proteinet som noget fremmed for kroppen, en slags virusinfektion der skal bekæmpes. Det igangsætter et immunrespons, som også lagrer sig i immunforsvarets celledokumentation.

Hvis en person, som er vaccineret med en mRNA-vaccine, efterfølgende kommer i kontakt med coronavirus, vil immunforsvarets hukommelse genkende virus og samtidigt have et forsvar til at bekæmpe den.

mien ledt til en vaccinerevolution, der har været drevet af udviklingen af mRNA-vaccinerne. Før pandemien havde forskere arbejdet med DNA- og mRNA-vaccineteknologien siden begyndelsen af 1990'erne, men der manglede en pandemi til at få testet teknologien af på mennesker i stor skala. Den pandemi fik vi i den grad.

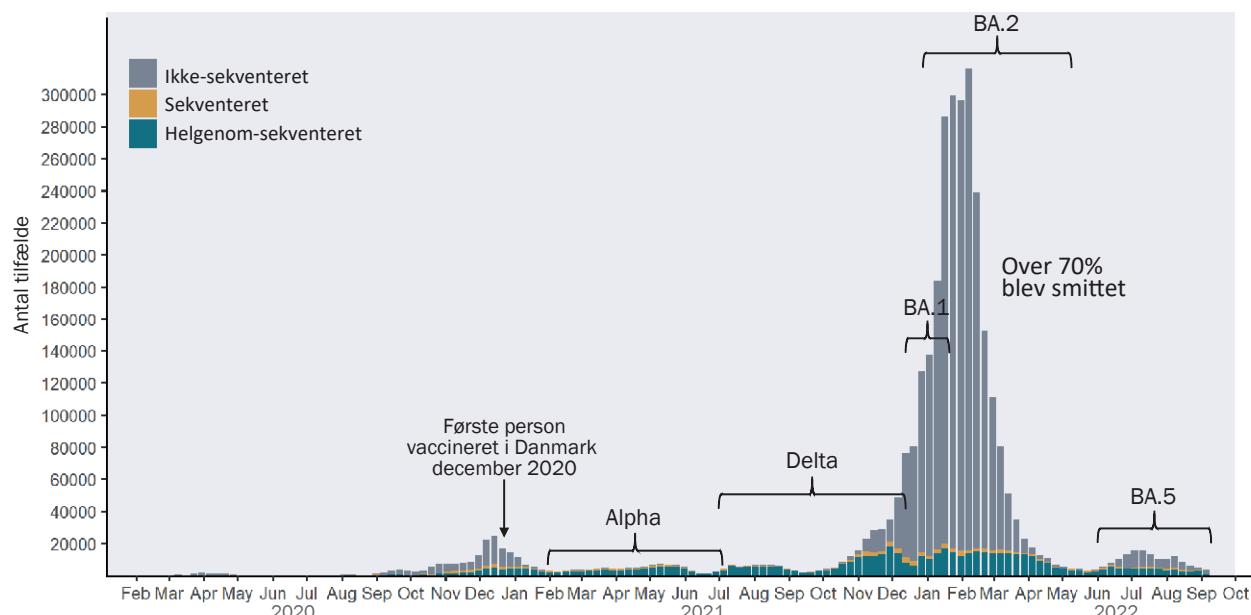
»Vi har virkelig været vidner til en revolution indenfor vaccineteknologi, hvor det i dag er blevet muligt at udvikle og lave en ny vaccine til milliarder af mennesker indenfor et år. Det var slet ikke muligt med den "gamle" vaccineteknologi,« siger Anders Fomsgaard.

Det kan måske undre nogle, at teknologien til at lave mRNA-vacciner har været kendt siden begyndelsen af 1990'erne, men at vi først nu har benyttet os af den. Det er der ifølge Anders Fomsgaard en god forklaring på: Der manglede en virus, som både var farlig nok, til at det var relevant at lave en vaccine imod den, og så skulle virussygdommen ikke været dækket ind af vacciner med den gamle vaccine-teknologi.

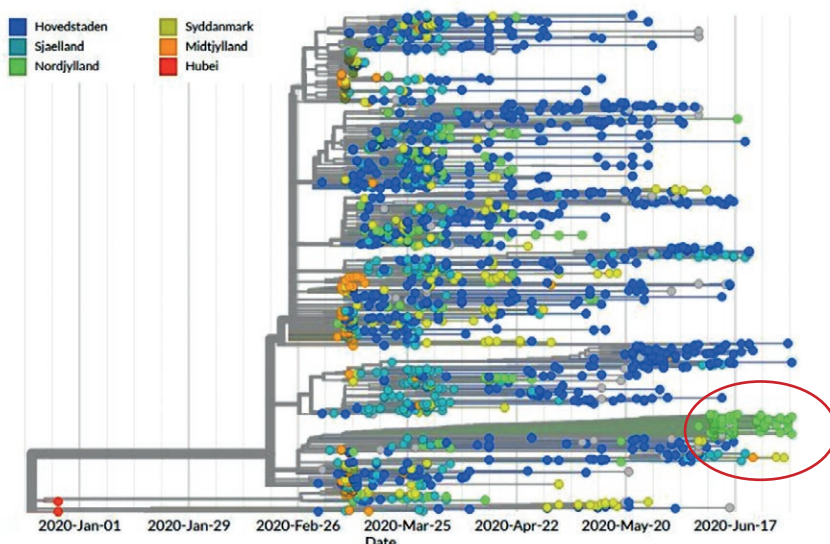
»Med COVID-19 kom der en mulighed for at få testet denne vaccineteknologi af på millioner af mennesker og gøre den til nok den mest gennemtestede form for

vaccine i dag. Med eftervisningen af teknologiens potentiale forventer jeg også, at vi fremover vil se, at mange eksisterende vacciner vil blive udskiftet med vacciner lavet med mRNA-teknologi. Vi har set, at de virker bedre, og at vi kan producere dem meget hurtigere. Jeg tror også, at vi kommer til at se denne teknologi brugt til at lave vacciner mod alt fra influenza til kræft,« siger Anders Fomsgaard.

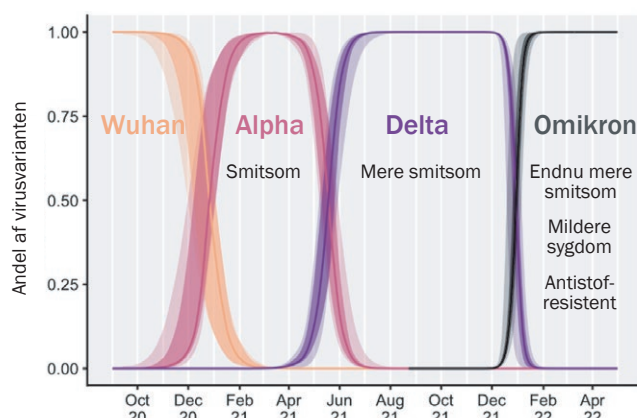
Selv arbejder Anders Fomsgaard med en anden vaccineteknologi baseret på det mere stabile DNA, og den teknologi skal i 2023 testes på mennesker i form af en booster-vaccine mod COVID-19-varianter.



Antal smittetilfælde med de forskellige varianter hen over hele pandemiperioden i Danmark. Andelen af virus, der blev helgenom-sekventeret, er angivet med grønt.



I sommeren 2020 opstod der panik i Danmark, da det viste sig, at flere smittetilfælde med Covid-19 kunne tilbageføres til smitte fra mink, hvor der var opstået nye mutationer af sars-CoV-2. Figuren viser et slægtskabstræ (fylogenetisk træ), som samler forskellige virusgener fra smittede danskere rundt om i Danmark. Fra juni 2020 kan man se, at der ophobes flere og flere af en helt ny virusstamme i Jylland, som stammede fra mink (rød markering).



Efter Bernard et al (2022) MedRxiv.

Vi oplevede et generelt mønster i udviklingen af nye virusvarianter under pandemien: En ny variant opstår, som er mere smitsom end den foregående, hvorved den nye variant hurtigt breder sig til den helt udkonkurrerer og overtager fra de foregående varianter.

Muligt at følge mutationer i virus i realtid

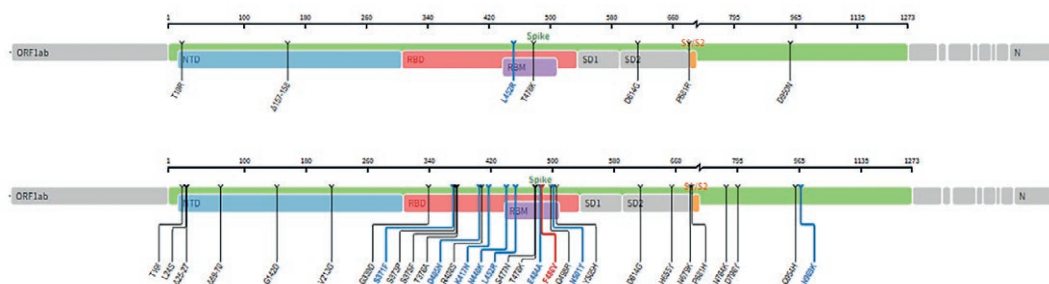
Ifølge Anders Fomsgaard har pandemierne også lært os en anden ting, og det er værdien af genetisk overvågning af virus og virusvarianter.

Helgenomsekventering har været nøglen til at følge med i, hvordan virus har udviklet sig under pandemien, og vi har i især Danmark været hurtige og gode til at udvikle og benytte dette værktøj til at følge med i, hvornår de forskellige varianter har ramt Danmark, og i forståelsen af, hvor farlige de forskellige varianter potentielt set har været.

Anders Fomsgaard betegner det som at kunne se ind i maskinrummet på virus. Ved at følge de mutationer, som undervejs har tilpasset coronavirus til at være bedre til at smitte os, har forskere kunnet følge smittekæder og også sætte ind med tiltag for at stoppe særligt bekymrende varianter. Det skete blandt andet, da en variant pludselig kunne smitte fra mennesker til mink og tilbage igen, og de danske sundhedsmyndigheder valgte kortvarigt at lukke hele Nordjylland ned. Internationalt skete det, da en bekymrende variant blev opdaget i Sydafrika, og de fleste lande rundt om i verden lukkede ned for rejsende fra landet.

Med helgenomsekventeringerne blev alfa-varianten og delta-varianten også hurtigt opsporet i Danmark, og selvom det viste, at vi var med helt fremme i opsporingen af nye virusvarianter, var det ikke altid, at det kom os til gavn.

»Jeg skulle selv til Paris i tre dage hen over julen, men fordi alfa-varianten var fundet



Figuren viser hele gensekvensen for henholdsvis deltavarianten af coronavirus (øverst) og omikronvarianten (nederst). Alle mutationerne eller forskellene er markeret med streger, tal og aminosyrebogstaver. Forskellene understreger, hvor hurtigt virusgenomet kan ændre sig. Det grønne område repræsenterer spike-proteinet, og det Receptor Bindende Motiv (RBM) i det Receptor Bindende Domæne-område (RBD) er angivet med farver.

Videre læsning:
Anders Fomsgaard:
Det er bare en virus.
2. udgave, Gyldendal
2022.

her i Danmark, havde Frankrig lukket ned for rejser fra Danmark til Frankrig. Det var lidt fjollet, fordi varianten selvfølgelig også var i Frankrig, men man testede bare ikke for det, ligesom vi gjorde i Danmark. Derudover har vi i Danmark formentlig verdens bedste registre, og det gjorde det muligt for os at lave nogle helt unikke studier, hvor vi kombinerede resultater fra PCR-tests og helgenomsekventeringer med registerdata til at blive klogere på epidemiologien i pandemien *real-time* og på et niveau og omfang, som andre lande ikke kunne matche,« fortæller Anders Fomsgaard.

Anders Fomsgaard ser også gerne, at vi fremadrettet i langt højere grad benytter helgenomsekventering til at følge nye virus, som potentielt set kan være udgangspunkt for en ny pandemi. Kan vi tidligt identificere virus, der udvikler problematiske mutationer, kan vi også tidligere sætte ind med interventioner, der kan holde dem fra at vokse og blive verdensomspændende.

»Som eksempel kunne vi måske allerede i 2016-2017 i Nigeria have opdaget, at abekopper var blevet meget bedre til smitte mennesker seksuelt, og så kunne vi have forhindret, at der kom et stort smitteudbrud ud af det. Heldigvis endte smitteudbruddet ikke med at gå ud over så mange mennesker, men det kunne være endt meget værre. På samme måde ser jeg gerne, at vi løbende overvåger for eksempel influenza i dyr, men også andre sygdomme som TBE, der spredt

sig i Danmark. Vi har gennem de seneste år været vidner til en vaccinerrevolution, men jeg ser gerne, at vi også bliver mere proaktive og forhindrer pandemierne i at opstå fremfor at vaccinere os ud af dem, når de er her,« forklarer Anders Fomsgaard.

Vi burde holde fast i nogle gode vaner fra pandemien

Pandemien lærte os også en tredje ting, og det er værdien af de tiltag, som vi alle sammen tog til os i to år, nemlig afstand, mundbind og brugen af sprit og sæbe. Lukning af skoler, hjemmearbejde, social distance og forsamlingsforbud gjorde, at COVID-19 blev holdt nede, samtidig med at alle andre luftvejsinfektioner forsvandt. Det gjaldt blandt andet forkølelse, influenza og RSV. Sygdommene var væk i to år, men er kommet tilbage, efter samfundet er lukket helt op igen, og folk er gået tilbage til at leve på den måde, som de gjorde før pandemien.

Anders Fomsgaard betragter det hele som et kæmpe samfunds-eksperiment, hvor vi i løbet af to år afprøvede effekten af en masse tiltag på noget, som er et kæmpe samfundsproblem, nemlig at så mange bliver så syge af blandt andet luftvejsvirus hvert eneste år, når influenzasæsonen slår ind. Børn i børnehaver og vuggestuer bliver syge og smitter hinanden og bedsteforældre, så forældre må blive hjemme fra arbejde, hvis de da ikke selv bliver syge og smitter deres kollegaer. Årligt koster det milliarder af kroner, som formentlig

kunne spares, hvis vi indrettede os anderledes og holdt fast i nogle af de vaner, som vi havde tillagt os under pandemien.

»Jeg ville også ønske, at vi i stedet for bare at gå helt tilbage til vores gamle vaner, var kommet tilbage til fremtiden og havde holdt fast i noget af det, som virkede. Det kunne måske være at spritte hænderne af noget oftere eller at bruge mundbind i offentlig transport. Hvorfor skal vi have den samme dårlige rengøringsstandard i dag, som vi havde før pandemien, når vi nu havde set, at det har en gavnlig effekt på udbredelse af smitsomme virus, at vi rent faktisk er bedre til at holde en god hygiejne,« siger Anders Fomsgaard.

Han forklarer, at tiden må vise, hvor gode vi er til at huske alle de ting, vi har lært under denne pandemi, når den næste pandemi rammer os. Det er nemlig ikke et spørgsmål om "hvis", men om "hvornår".

I 2019, da Anders Fomsgaard lige havde udgivet sin bog, hørte man for første gang om en ny virus, der var begyndt at sprede sig i Kina fra et marked i Wuhan. Dengang vidste ingen, hvad det ville få af betydning for hele verden over de næste 2,5 år. Spørgsmålet er, om vi så er lige så blinde næste gang, eller om overvågning, hurtig vaccineteknologi og en folkelig bevidsthed om værdien af social distance og hygiejne gør os i stand til at få skovlen under virus, inden den får skovlen under millioner af os. ■

MED JAMES WEBB TILBAGE TIL SELVE TIDENS RAND



Det sidste billede nogensinde af James Webb. Det er taget af et kamera monteret på den Ariane 5-raket, der i 2021 løftede teleskopet ud i rummet, få minutter efter afkoblingen fra raketens andet trin. Efter at være blevet koblet af løfteraketten fortsatte James Webb på momentum mod sin endestation, Lagrange-punktet L2, og foretog kun tre små (planlagte) korrigerings-boosts med sine små jets på undersiden; to lige efter afkoblingen, og ét til at komme på plads i L2. Det er et raketvidenskabeligt vidunder, at det sidste boost kun behøvede at ændre teleskopets fart med 1,6 m/s — svarende til et raskt spadseretempo!

Foto: ESA/Arianespace.

Om forfatteren



Peter Laursen er astrofysiker og videnskabsformidler ved Cosmic Dawn Center, som er et samarbejde mellem Niels Bohr Institutet og DTU Space, støttet af Danmarks Grundforskningsfond.
pela@nbi.ku.dk

I sommer begyndte rumteleskopet James Webb at sende smukke billeder ned til forskerne. Billederne viser blandt andet galakser, som ikke bare er nogle af de første i Universets historie, men tilsyneladende også så store og tunge, at de udfordrer vores forståelse af universets opbygning.

*D*écollage... Liftoff... from a tropical rainforest to the edge of time itself."

På trods af de lidt storladne vendinger rørte sætningen mig alligevel, da NASA's missions-kommentator Rob Navias juledag 2021 med denne afsked sendte rumteleskopet James Webb afsted fra Kourou i Fransk Guyana. For det er lige præcis, hvad James Webb kommer til: Med dette højteknologiske teleskop kommer vi til at se tilbage i tiden til nogle af de allerførste galakser, som blev dannet, kort efter Big Bang.

På min arbejdsplads, Cosmic Dawn Center, forsker vi netop i tidlige galakseres dannelse og udvikling og har som erklæret mål at analysere data fra James Webb. Men alle tænkelige problemer — fra hardware- og softwareproblemer, over nedskæringer, til en pandemi — havde forsinket opsendelsen over et årti, så da dagen endelig

oprandt, var det års forventninger, der blev forløst.

Spændingen var dog endnu ikke ovre: Forude lå en rejse på 1,5 million kilometer, en udfoldning, der aldrig var blevet prøvet før, med over 300 trin, der kunne gå galt, nedkøling til tæt på det absolutte nulpunkt, justering af spejle til nanometer-præcision og endelige kalibrering og tests af teleskopets instrumenter.

Men lad os lige tage et step tilbage og se lidt på, hvad James Webb egentlig er for en størrelse, og hvad formålet overhovedet er med at skyde et 10 milliarder dollars dyrt apparat ud i rummet.

James Webb ser (infra-)rødt

Allerede før Hubble-teleskopet, som har givet os så mange smukke billeder, blev sendt op, begyndte snakken om dens efterfølger så småt at gå. Men først i 1996 lå en mere eller mindre endelig plan fæ-

dig for et teleskop, der skulle kunne se endnu længere ud i rummet, og dermed endnu længere tilbage i tiden, end Hubble — helt tilbage til de allerførste galakser.

Fordi lys bruger tid på at rejse hen til os, kigger vi længere tilbage i tiden, jo længere vi kigger væk. Men på sin rejse oplever lys en forunderlig fysisk effekt: Idet Universet udvider sig, strækkes lysets bølglængde proportionalt med denne udvidelse. En lyspartikel (foton), som starter ud med at være for eksempel violet, bliver efterhånden blå og bevæger sig henover hele det synlige spektrum, til den bliver rød. Galakser ser derfor rødere ud, jo længere de er væk, og de allerfjerneste bliver infrarøde og dermed usynlige for det menneskelige øje. Vi siger, at lyset bliver *rødforsku*dt.

I midt-90'erne fik vi også de første billeder af planeter omkring andre stjerner; såkaldte exoplaneter. Det gik hurtigt op for forskerne, at et

infrarødt teleskop ville være nyttigt her: Infrarødt lys kendes også som "varmestråling", fordi ting der efter menneskelige standarder er varme, udsender denne stråling. Planeter varmes op af deres moderstjerne, og udsender denne varme som infrarødt lys. Derudover har nogle exoplaneter atmosfærer, og forskellige molekyler har det med at udsende og absorbere lys ved infrarøde bølgelængder.

Stjerner dannes i tætte skyer af gas og støv, og i starten ligger de derfor skjult dybt inde i disse skyer. Men støv absorberer lettest det kortbølgede lys; jo længere bølgelængde, des lettere trænger det igennem støvet. Derfor kommer James Webb også til at lære os om de hidtil uudforskede tidligste faser af stjerne- og planetdannelse.

Ekstrem kulde

Hubble kan godt nok se infrarødt, men kun det mest kortbølgede af slagsen. Og hvad vigtigere er: Hubble ligger i kredsløb om den (lidt for) varme Jordklode, kun godt 500 km over vores hoveder, og varmes også op af Solens lys. For at James Webbs fine billeder ikke skal drukne i denne varmestråling, er der gjort alt for at få det så koldt som muligt:

For det første er teleskopet blevet bortvist til et særligt område 1,5 millioner kilometer væk fra Jorden, fire gange så langt væk som Månen og i retning væk fra Solen. Normalt ville denne længere afstand til Solen betyde, at teleskopets kredsløb om Solen ville tage længere tid end Jorden ($5\frac{1}{2}$ dage længere per år), men lige præcis i denne afstand giver den ekstra tyngdekraft fra Jorden teleskopet et lille boost, der får dem til at følges ad. Dette særlige område kaldes Langrange-punkt 2, opkaldt efter franskmænden Joseph-Louis Lagrange (1736–1813).

Teleskopet ville dog stadig blive varmet op af Solens, og til dels Jordens og Månens, lys. Derfor er det udstyret med en solskærm på størrelse med en tennisbane (over $20 \times 14 \text{ m}^2$), som altid peger tilba-

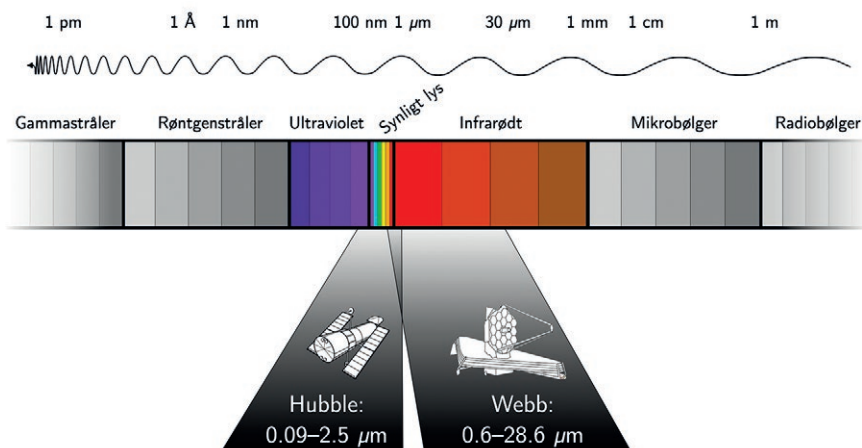


Rumteleskopet James Webb delvist udfoldet. Foto: Chris Gunn/NASA.

Webbs fire mål

Overordnet set er James Webb designet til at kunne lære os om fire temaer:

1. Exoplaneter: Webb vil undersøge fjerne kloder og sammensætningen af deres atmosfærer (for eksempel kigge efter "biosignaturer", dvs. molekyler som kan være tegn på liv).
2. Stjernedannelse: Med sine infrarøde detektorer er Webb i stand til at kigge dybt ind i de tætte støvskyer, hvori stjerner og proto-planeter fødes.
3. De første galakser: På grund af rødforskydningen af lys, som kommer langvejs fra, kan Webb se tilbage til nogle af de allerførste stjerner og galakser, som vi tror blev dannet mellem 100 og 200 millioner år efter Big Bang og lære os om, hvordan de opstod.
4. Galakser over tid: Ved at observere populationer af galakser i Universets forskellige epoker vil Webb kortlægge deres (tidlige) udvikling, samt hvordan de med deres stråling påvirkede resten af Universet i en proces kalder "Re-ionisations-epoken".

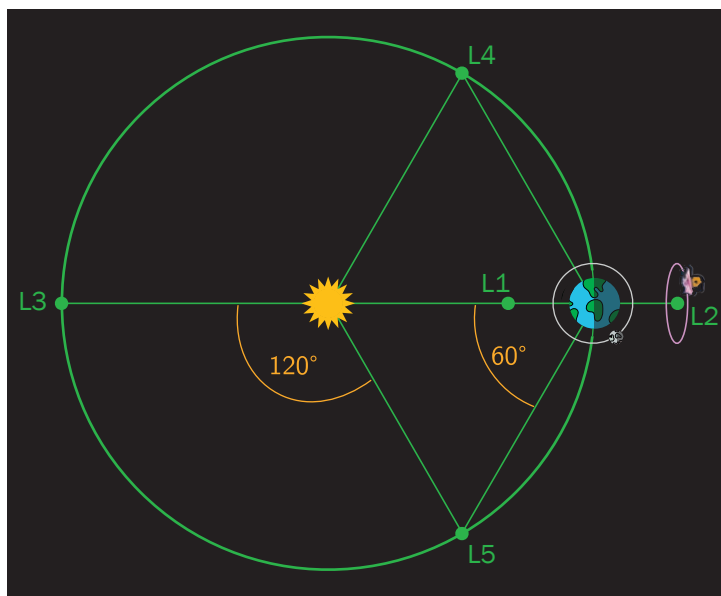


Det elektromagnetiske spektrum strækker sig fra kortbølgede og energirige gammastråler over det synlige lys og ud til de langbølgede og energisvage radiobølger. Hvor Hubble kun lige titter udenfor det synlige spektrum – fra 90 nanometer til 2,5 mikrometer (μm) – kan James Webb se hele den nær-infrarøde og et godt stykke ind i den midt-infrarøde del af strålingen.

Illustration: Peter Laursen.

Lagrange-punkterne L1–L5: Normalt bevæger man sig hurtigere rundt, jo tættere man er på Solen (fx bruger Merkur kun tre måneder på at komme rundt). Man skulle derfor tro, at James Webb, som ligger 1,5 millioner kilometer længere væk fra Solen end Jorden, efterhånden ville sakke bagud. Men i fem bestemte punkter giver den kombinerede tyngdekraft fra Jord og Sol en form for stabilitet. Figuren er ikke til skala; i virkeligheden er afstanden til L2 (og L1) kun 1% af afstanden fra Jorden til Solen.

Illustration: Peter Laursen



Rumteleskopet James Webb i foldet tilstand.

Foto: Chris Gunn/NASA.



James Webbs fire instrumenter

Til at observere det infrarøde lys har James Webb fire instrumenter, som hver især har mange forskellige egenskaber:

1. NIRCarn: Et kamera, som er følsomt i det nær-infrarøde område, dvs. fra 0,6 μm (som faktisk er orange-rødt) til 5 μm . NIRCarn har 13 filtre og faktisk også en spektrograf. Desuden har instrumentet en "koronagraf", som kan blokere for en stjernes lys, så man kan se dens planeter, samt en "bølgefronts-sensor", som bruges til at justere de 18 spejlsegmenter.
2. NIRSpec: Nok det mest avancerede instrument i rummet til dato. NIRSpec kan levere lav-, mellem-, og højopløsnings-spektroskopi, også i NIR-området fra 0,6 til 5 μm . NIRSpec har et komplekst "microshutter array", som er flere hundrede bittesmå vinduer, så man kan tage spektre af hundredevis af objekter samtidigt.
3. MIRI: Webbs midt-infrarøde instrument, som kan tage billeder og spektre fra 5 μm til 28–29 μm . MIRI kan også tage billeder, hvor den rumlige opløsning ikke er så høj, men hvor hver pixel til gengæld har et tilhørende spektrum.
4. NIRISS/FGS: Et nær-infrarødt kamera og spektrograf, der blandt andet har et såkaldt "aperture masking interferometer", som giver meget høj opløsning for klare objekter som nære stjerner. Instrumentet er integreret med en "Fine Guidance Sensor", som bruges til at låse teleskopet fast på en guide-stjerne, så det ikke langsomt glider væk fra sit mål, mens det eksponerer.

ge mod Solen, sådan at teleskopet ligger i evig skygge. Solskærmen består af fem lag ultratynde (25–50 mikrometer) polyimid-film, coatet med aluminium (i princippet det samme som et redningstæppe). De to nederste lag er desuden dopet med silicium, hvilket giver den karakteristiske lyserøde farve.

Skærmen er ekstremt effektiv: Hvor temperaturen på solsiden er 50 °C, falder den gradvist henover lagene, indtil der i skyggesiden er omkring –235 °C, små 40 grader over det absolute nulpunkt (også kaldet 40 K).

Dette er fint til tre af Webbs fire instrumenter, som skal observere det nær-infrarøde lys. Men det fjerde, kaldet MIRI, skal observere det midt-infrarøde, som har endnu længere bølgelængder og derfor forstyrres selv af varmemstråling fra det 40 K "varme" teleskop. Derfor er Webb også udstyret med en *cryocooler* — et køleskab som kører på flydende helium, og som holder MIRI nede på isnende 6 K.

James Webb udfordrer fysikken

Heldigvis gik både udfoldning, idriftsættelse og kalibrering over al forventning, og efter et halvt år kunne astronomer verden over få fingre i de længe ventede data. Og James Webb skuffede ikke:

Allerede fem dage efter at Webb begyndte at sende sine data ned til Jorden — op til 28,6 GB ad gangen, to gange dagligt — begyndte de første rapporter om rekord-fjerne galakser at poppe op på preprint-serveren arXiv.org, hvor forskerne har for vane at lægge deres opdagelser ud, inden de bliver fagfællebedømt (dvs. gennemgået minutiøst af en uvildig ekspert). I de følgende dage, uger og måneder blev rekorden slået igen og igen.

At finde den fjerneste galakse er ikke bare et spørgsmål om æren i at slå en rekord (selvom det også spiller ind): Den hidtil fjernest kendte galakse med navnet GN-z11 blev fundet i 2016 og ses 400 millioner år efter Big Bang. Teoretiske bereg-



Galaksehoben Abell 2744 observeret af James Webb. Den lille røde klat i zoom-in'et til venstre viser galaksen GLASS-z12. I skrivende stund er det den mest robuste kandidat til den fjerneste galakse, vi nogensinde har set. Fordi vi kigger længere tilbage i tiden, jo længere vi kigger ud i Universet, ser vi GLASS-z12 helt tilbage til dengang, Universet var 350 millioner år gammelt, blot 2,5% af sin nuværende alder.



Tidslinje over Universets udvikling, hvor tiden går fra venstre mod højre. Den orange galakse viser den nuværende rekordindehaver, GN-z11. De to første udfordrere til denne rekord blev døbt henholdsvis GLASS-z10 og GLASS-z12. CEERS-1749 er en særligt stor galakse. For at fremhæve ting, der sker i det tidlige Univers, er tiden "strukket" tæt på Big Bang (yderst til venstre) og "klempt sammen" tæt på i dag (yderst til højre). Som vi kigger længere og længere tilbage i tiden, ser vi mindre og mindre udviklede galakser.

ninger og sofistikerede computer-modeller fortæller os, at de første stjerner og galakser opstod et sted mellem 100 og 200 millioner år efter Big Bang. De nye observationer antyder galakser set 350, 300, 200, og endda 180 millioner efter Big Bang, og bliver de bekræftet, kan de give os stærke tests af vores teorier.

Men der er et problem:

Vi har en ret god teoretisk forståelse af, hvordan Universets struktur opstod fra små klumper af gas og mørkt stof til større klumper, der kun

ne danne stjerner og efterhånden samle sig i større og større galakser. Eller... det troede vi i hvert fald. Men nogle af de galakser, som James Webb har fundet, ser simpelthen ud til at være langt større, end de burde kunne nå at vokse sig på så kort tid. Én af dem er endda ligeså stor som vores egen galakse Mælkevejen er i dag, 13 milliarder år senere.

Hvordan kan en galakse nå at vokse sig så stor på 1/100 af den tid Mælkevejen har brugt? Har vi misforstået alt?

En banebrydende revision af vores grundlæggende, kosmologiske model af Universets struktur og udvikling er ikke utænkelig. Denne model (som går under navnet "ΛCDM" – lambda-CDM) har været ekstremt succesrig med at forklare diverse fysiske fænomener, men har også sine mangler.

Men før vi erklærer et fundamentalt paradigmeskift, er der en lang række forbehold, vi må tage: I skrivende stund er kun et par af alle artiklerne færdige med at blive fagfællebedømt.

To metoder til at måle rødforskydning

Afstanden til fjerne galakser bestemmes ved at måle deres rødforskydning. For at gøre det præcist må man have et spektrum, så man kan måle, hvor meget spektrallinjerne er forskudt. Men spektre tager lang tid at optage, og man skal vide, hvorhen man skal rette teleskopet.

I stedet kan man bruge en langt hurtigere, men også mere upræcis metode, hvor man tager billeder af et stort felt på himlen gennem forskellige farvefiltre. På den måde kan man få en ide om, hvor røde alle de galakser, der ligger i dette felt, er.

Metoden er dog ikke kun upræcis, men kan også let give falske detekteringer, for afstand er ikke det eneste, der kan gøre en galakse rød: For det første absorberer interstellart støv primært det blå lys, og lader det røde slippe ud. For det andet vil galakser, som af den ene eller den anden grund er hørt op med at danne nye stjerner, blive rødere med tiden. Det skyldes, at tunge stjerner brænder kraftigt og blåhvidt, men dør hurtigt, mens lette stjerner brænder mere roligt og rødorange, men lever længe.

“Billede-metoden” bruges til at opdage galakserne, men før man har brugt “spektroskopi-metoden”, kan vi faktisk ikke tillade os at kalde galakserne andet end kandidater.

Videre læsning:
webb.nasa.gov

Mere afgørende er det dog, at metoden til at bestemme deres afstand er en hurtig men upræcis metode og skal følges op med den mere tidskrævende spektroskopi (se boks).

Det kan også være, at de fysiske

forhold i det tidlige Univers er væsentligt anderledes end det mere lokale Univers, som vi kender bedre. For eksempel kan galakserne være mere effektive til at danne stjerner eller danne klarere stjerner, så de ser større ud, end de egentlig er. Eller

vi kan simpelthen have været heldige og peget teleskopet mod et område, hvor der tilfældigvis er flere galakser end gennemsnittet og dermed større chance for at se nogle, der er store.

Der er altså masser af grunde til, at vi lige skal holde vores heste lidt endnu. Inden længe kommer vi til at have spektre, der kan be- eller afkræfte galaksernes rødforskydninger. Vi får også snart “wide-field”-observationer af større områder af himlen. Om vi skal til at revidere vores kosmologiske model er endnu uvist, men én ting er sikkert: James Webb kommer til at udvide vores horisont på den ene eller den anden måde, når vi kigger tilbage til selve tidens rand.

Efter redaktionens afslutning fik vi endelig den længe ventede spektroskopiske bekræftelse af en rekord-fjern galakse, døbt JADES-GS-z13-0, som ses helt tilbage da Universet var 320 millioner år gammelt (omend studiet endnu ikke er accepteret til publikation). Indenfor de nærmeste år vil denne rekord utvivlsomt blive slået indtil flere gange. Det er en spændende tid, vi lever i! ■

Roskilde Universitet

Læs Naturvidenskabelig Bachelor

” Vi finder et problem, og så leder vi efter naturvidenskabelige metoder til at løse det.

Vi samarbejder fx med hospitaler om modeller for, hvor lang tid kroppen kan tåle behandling med strålingsterapi mod kræft.”

— Max har læst Naturvidenskabelig Bachelor



Foto: Ture Andersen

RUC

COVID-beregning førte til løsning på gammelt datalogisk problem

Corona gjorde mange af os til hobby-matematikere. Også de professionelle matematikere blev udfordret. Endda så meget, at det har inspireret en forsker ved Københavns Universitet til at løse et 30 år gammelt datalogisk problem. Gennembruddet er netop publiceret i det prestigefyldte tidsskrift *Journal of the ACM* (Association for Computing Machinery).

»Egentlig ville jeg bare regne på COVID-epidemien lige som så mange andre. Jeg ville eksperimentere med nogle ideer fra teoretisk datalogi, men her viste det sig, at det gamle problem var en stopklods,« siger Joachim Kock, lektor ved Matematisk Institut, Københavns Universitet.

Gennembruddet er gjort indenfor det matematiske område, der kaldes Petri-net, som bruges til at beskrive komplekse matematiske systemer. Løsningen på problemet kan få anvendelse inden for epidemiologi og datalogien, men potentielt også en lang række andre fagområder. Fælles for disse områder er, at der optræder systemer med mange forskellige komponenter, som indbyrdes har indflydelse på hinanden. For eksempel kan mødet mellem en rask person og en COVID-smittet føre til, at der nu er to COVID-smittede.

Anså problemet for uløseligt

Petri-nettet blev opfundet i 1939 af tyske Carl Adam Petri (i øvrigt i en alder af blot 13 år) til brug for kemi. I kemi anvendes



Lektor Joachim Kock. Foto: Jim Høyer

Petri-net til at beskrive, hvordan koncentrationerne af forskellige kemiske stoffer udvikler sig i en blanding. Den tankegang har præget brugen af Petri-net i epidemiologi: man forestiller sig, at der i udgangspunktet er en høj "koncentration" af raske, hvorefter "koncentrationen" af smittede begynder at stige. I datalogi bruges Petri-net på en lidt anden måde: her drejer det sig om individer snarere end koncentrationer, og udviklingen er snarere trinvis end kontinuerlig.

Joachim Kocks idé var at anvende de mere individ-baserede datalogiske Petri-net også til COVID-beregninger. Her løb han imidlertid ind i det gamle datalogiske problem:

»Grundlæggende er der to forskellige tilgange til at beskrive processerne i et Petri-net. I

den første tilgang betragtes en proces som en lang serie af begivenheder. I den anden tilgang betragter man nettet som en grafisk fremstilling af sammenhænge mellem de forskellige komponenter og begivenheder,« forklarer Joachim Kock og uddyber:

»Den serielle tilgang er velegnet til udregninger. Men ulempen er, at den ikke beskriver årsagssammenhænge lige så godt som den grafiske tilgang. Den serielle tilgang har også svært ved at beskrive begivenheder, der finder sted samtidig.«

»Problemet består i, at ingen har kunnet forene de to synspunkter. Datalogerne havde vel egentlig givet op, og betragtede nærmest problemet som uløseligt. Det skyldes, at ingen tænkte på, at man var nødt til at gå helt tilbage og revidere selve definitionen af Petri-net,« siger Joachim Kock.

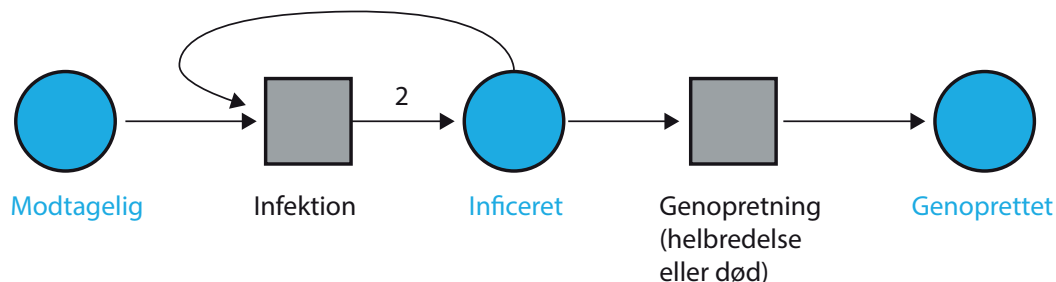
Lille justering med stor effekt

Den danske matematikers opdagelse var, at en lille ændring i definitionen af Petri-net faktisk muliggør en løsning af problemet:

»Ved at tillade parallelle pile i stedet for bare at tælle dem og skrive et tal, er der pludselig en smule mere information tilgængelig. Tingene går op, og de to tilgange til at beskrive processerne kan forenes.«

Michel Skov Jensen, Københavns Universitet.

Kilde: *Journal of the ACM*, Vol. 70 Iss. 1, Article No.: 1pp 1–58



En simpel udgave af et Petri-net for COVID-smitte. Udgangspunktet er en ikke-smittet person – dvs. modtagelig. Mødet med en smittet person er en begivenhed, som fører til, at der nu er 2 smittede. Senere vil der indtræffe en ny begivenhed, som fører til, at en person ophører med at være inficeret og dermed bliver "genoprettet" (recovered), som i denne sammenhæng enten kan være helbredt eller død. Begge udfald vil fjerne personen fra gruppen af inficerede.

OPLEV UNIVERSITETET INDEFRA

BLIV STUDERENDE FOR EN DAG

Følg hverdagen som studerende på Aarhus Universitets
naturvidenskabelige uddannelser og ingeniøruddannelser.

Oplev studielivet, kom med til undervisning og stil dine spørgsmål
til den universitetsstuderende, som du følges med, mens du er
'studerende for en dag'.



Fotografer: Anders Trærup og Lars Kruse, AU Foto

Læs mere og tilmeld dig på

NAT.AU.DK/STUDERENDEFORENDAG

TECH.AU.DK/STUDERENDEFORENDAG



MATEMATIKKEN BAG BEDRE FORSIKRINGER til en mere fair pris

Bag de forsikrings- og pensionsprodukter, de fleste af os kommer i kontakt med gennem livet, gemmer der sig en masse *forsikringsmatematik*. Forskningen indenfor området får nu en saltvandsindsprøjtning.

Matematikken er et universelt sprog, der kan bruges til at forbinde områder, der umiddelbart kan synes langt fra hinanden – for eksempel naturvidenskab, økonomi og jura. Et eksempel på det er forsikringsmatematik, som vi beskæftiger os med på Institut for Matematiske Fag ved Københavns Universitet. Her har vi for nylig landet en historisk stor aftale med en række danske forsikrings- og pensionselskaber om forsikringsmatematisk forskning og uddannelse. Med dette initiativ – kaldet

InterAct – ønsker partnerne bag at skabe bedre rammer for intensiveret forskning indenfor en række områder, der præger forsikrings- og pensionsbranchens udvikling nu og i de kommende år.

Men hvilke forskningsspørgsmål dukker op? Hvorfor er det også naturvidenskab? Lad os se på et eksempel, der vedrører pension.

Rimelige forsikringspræmier
Vi ser på en 35-årig kvinde, som skal spare op til pension. Hun går på pension som 75-årig og ønsker

100.000 kr. til forbrug, når hun bliver 75, hvis hun bliver 75. Vi ønsker nu at finde en rimelig forsikringspræmie, det vil sige en pris for forsikringen, som hun skal betale i dag som 35-årig.

Lad os til en start antage, at kvinden faktisk overlever til alder 75. Da præmien skal betales i dag, mens ydelsen på 100.000 kr. først udbetales om 40 år, bør man tage hensyn til *tidsværdien* af penge, altså renten. Med en nogenlunde realistisk rente på 3,5 % vil cirka 25.000 kr. i dag blive til 100.000

Om forfatterne



Mogens Bladt er professor
bladt@math.ku.dk



Christian Furrer er tenure-track adjunkt
furrer@math.ku.dk



Munir Hiabu er tenure-track adjunkt
mh@math.ku.dk



Mogens Steffensen er professor
mogens@math.ku.dk

Alle ved Institut for Matematiske Fag, Københavns Universitet

InterAct

InterAct står for *Interaction in Actuarial Science* og danner ramme om forskning og uddannelse indenfor forsikringsmatematik og beslægtede discipliner. InterAct er et samarbejde mellem Institut for Matematiske Fag ved Københavns Universitet og syv af landets forsikrings- og pensionselskaber: AP Pension, Danica, Industriens Pension, PensionDanmark, Tryg, Velliv og PFA. Projektammen løber over de næste 11 år.

kr. om 40 år. Derfor er 25.000 kr. et godt bud på en rimelig forsikringspræmie.

Denne præmie tager dog ikke hensyn til, at kvindens levetid er tilfældig – eller *stokastisk*, som det hedder på fagsprog. Sagt med andre ord: vi ved ikke i dag, om kvinden faktisk overlever til alder 75. Den gren af matematikken, som beskæftiger sig med stokastiske fænomener, er sandsynlighedsregningen. Den har sine helt egne love, og på baggrund af een af dem, Store Tals Lov, kan man argumentere for, at man bør tage hensyn til kvindens tilfældige levetid ved at justere forsikringspræmien med sandsynligheden for, at kvinden overlever til alder 75. Argumentet kræver bare, at vi sælger denne kontrakt til en stor gruppe kvinder med uafhængige levetider. Med den nogenlunde realistiske vurdering, at omtrent fire ud af fem 35-årige kvinder bliver mindst 75 år, får vi så præmien $p = 4/5 \times 25.000$ kr. = 20.000 kr.

I praksis ønsker kvinden måske at spare et fast årligt beløb op, fra hun er 35 år til hun er 75 år, for at få et fast beløb til forbrug, fra hun er 75 år til hun dør. Dette kan principielt håndteres på samme måde, men regnestykket bliver blot lidt vanskeligere.

Risici og fairness

Ovenstående beregning kan oplagt problematiseres. Vi vil nu se på nogle problemstillinger, som det vil kræve forskning at finde svar på – og netop den type forskning, der sker indenfor InterAct.

Uafhængigheden mellem kvindernes levetider er en forudsætning for, at vi kan gøre brug af Store Tals Lov. Uafhængighed betyder, at hvis vi kender levetiden på een kvinde, så ændrer det *ikke* sandsynligheden for, at en anden kvinde overlever. Men det gælder faktisk ikke i virkeligheden. Der er en usikkerhed om fremtidens livsstil og medicinske fremskridt, der rammer hele gruppen af kvinder, og som faktisk gør deres levetider afhængige. Den er vi nødt til at tage hensyn til – enten ved at justere i præmien eller ved at justere i ydelsen.

Det kan gøres på forskellige måder, men det er vigtigt, at det bliver gjort på en måde, så produktet stadig opfylder det behov for pensionsopsparing, som kvinderne har. Modelleringen af fremtidens dødelighed og dens usikkerhed – og for andre forsikringer også andre risici og deres usikkerheder – er et centralt emne i forsikringsmatematikken.

Vi har i eksemplet indtil nu kun set på en gruppe kvinder. Det er sådan, at mænd i gennemsnit lever kortere end kvinder. Er det så fair, at mændene ifølge formlerne ovenfor betaler en lavere præmie end kvinderne gør? Det kommer helt an på, hvad man mener med fair. I det konkrete tilfælde findes der diskriminationslovgivning, der siger, at det er fair, at de betaler det samme. Det er relativt ligetil at rette sig efter, uanset om man er enig i konsekvenserne af den lovgivning eller ej. Men der er situationer, hvor det ikke er så enkelt.

Hvis rygere dør tidligere end ikke-rygere, og der er flere mænd end kvinder, der ryger, er det så kønsdiskriminerende, at rygere og ikke-rygere betaler forskellige præmier?

Diskriminationslovgivningen gælder alle forsikringstyper og ikke kun for køn men også for alder, etnicitet, osv. Så der er rigeligt med dilemmaer. Som forsikringsmatematikere jagter vi de grundlæggende principper, der på den ene side fungerer indenfor lovgivningen og lever op til forsikringselskabets etiske krav, men på den anden side også giver anledning til præmier, der kan beregnes rent teknisk og ikke fører til, at kunderne kan spekulere mod forsikringselskabet.

Design af forsikringsprodukter

På grund af inflation kan den 35-årige kvinde være bekymret for, hvad hun kan få for 100.000 kr. om 40 år. Det er ikke væsentligt for kvinden at have netop 100.000 kr. om 40 år men derimod at have mulighed for at købe de ting, hun har brug for. Derfor ændrer vi kontrakten, så kvinden får værdien af en Mærsk-aktie udbetalt om 40 år. Den bagvedliggende idé er, at der nok må være en sammenhæng mellem Mærsk-aktieprisens udvikling og prisudviklingen på de varer, kvinden gerne vil købe. Hvad er nu en rimelig præmie?

Udgangspunktet er her, at vi kender aktieprisen i dag, men ikke om 40 år, så aktieprisen om 40 år er derfor stokastisk. Vi argumenterer nu for, at en rimelig præmie er lig med aktieprisen i dag ganget med 4/5. Faktoren 4/5 er igen en konsekvens af, at omtrent fire ud af fem 35-årige kvinder bliver mindst 75 år – men hvorfor skal aktieprisen i dag indgå i præmien? Ideen er at købe Mærsk-aktier for præmien i stedet for at forrente den med 3,5 %. Disse aktier købes til prisen i dag, og efter 40 år sælges de til den værdi, som kvinden skal have, hvis hun overlever. Derfor passer pengene.

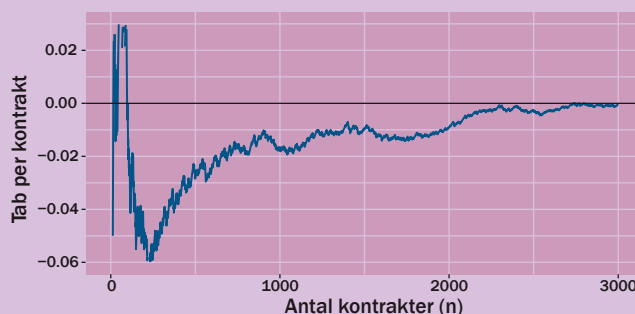
Kvinden har en kontrakt, der udbetaler et bestemt beløb, hvis hun bliver 75 år, nemlig Mærsk-aktieprien. Dette beløb kan hun så tære på, indtil hun dør. Skulle hun dog dø kort efter, hun blev 75 år, står der en masse penge tilbage. Skulle hun omvendt dø længe efter, har hun måske haft et for højt forbrug indledningsvist. Derfor findes der et bedre produkt, der udbetaler en fast ydelse hver måned til kvinden, indtil hun dør. Men blandt andet fordi der også er inflation i løbet af kvindens tid som pensionist, skal hun måske hellere have nogle ydelser, der også delvist afhænger af Mærsk-aktiens udvikling i den periode. Men hvordan?

Kan hun for eksempel leve med at hendes ydelser følger aktiepriens udsving? Eller vil hun hellere udglatte disse bevægelser over en længere årrække? Hvad foretrækker kvinden helt fundamentalt i forhold til usikkerhed og udsving i forbrug over tid, og hvordan skal vi derfor designe og kommunikere produktet, så hun værdsætter den balance mellem stabilitet og sikring af købekraften, som hun får?

Nye tider – nye metoder

Ovenstående emner rummer principielle spørgsmål af både økonomisk og juridisk karakter, så hvorfor er alt dette også *aktuel naturvidenskab* og ikke *bare økonomi* og *jura*? Det er det, fordi svarene trækker på avancerede matematiske, sandsynlighedsteoretiske, statistiske og datalogiske metoder. Ofte skal disse metoder udvikles målrettet for at hjælpe med at besvare spørgsmålene. InterAct rummer også emner, der handler mere direkte om udvikling og anvendelse af metoder møntet på de forsikringsmatematiske problemer, herunder brug af maskinlæring. Endelig kan nye typer af risici føre til nye produkter, som kræver udvikling af helt nye metoder, fordi hidtidige metoder er utilstrækkelige. I disse år betegnes for eksempel risici forbundet med klimaforandringer, pandemier og brugen af informationssystemer som "nye risici". ■

Pension og Store Tals Lov



Store Tals Lov i aktion: Tabet per kontrakt nærmer sig nul i takt med, at antallet af kontrakter forøges.

I det følgende giver vi en mere matematisk og formalistisk fremstilling af eksemplet gennemgået i artiklen for at belyse samspillet med Store Tals Lov. Vi dropper enheden *hundredetusinder kr.*, sådan at den ydelse, kvinden ønsker, er 1. Den stokastiske variabel T beskriver hendes alder ved dødsfald. Vi formaliserer ydelsen som en ny stokastisk variabel, der er en funktion af T , en såkaldt indikatorfunktion. Vi skriver ydelsen som

$$1_{(T>75)} = \begin{cases} 1 & T > 75, \\ 0 & T \leq 75, \end{cases}$$

der netop er 1, hvis kvinden overlever til alder 75, mens den er 0, hvis kvinden ikke overlever til alder 75. Vi foreslår præmien

$$p = \frac{1}{(1+r)^{40}} \times P(T > 75),$$

hvor $P(T > 75)$ er sandsynligheden for overlevelse til alder 75, mens den første faktor er en diskonteringsfaktor, der med renten r regner værdien af 1 betalt 40 år senere. Hvorfor er dette en rimelig præmie?

Pensionsselskabet sælger en sådan kontrakt til et stort antal, n , 35-årige kvinder, hvis levetider er uafhængige. Vi kan nu beregne selskabets samlede tab per kontrakt efter 40 år. Selskabet har fået præmien p fra n kvinder, da de var 35 år. Disse penge har de forrentet med renten r i 40 år, og de har altså et indestående på

$$n \times p \times (1+r)^{40} = n \cdot P(T > 75).$$

Modsat skal selskabet udbetale 1 til alle kvinder, der fortsat er i live. Vi tæller antallet via summen

$$\sum_{i=1}^n 1_{(T_i>70)},$$

hvor T_i er levetiden for den i 'te kvinde. Dermed bliver tabet (udgifter fratrukket indtægter) per kontrakt

$$\frac{\sum_{i=1}^n 1_{(T_i>70)}}{n} - P(T > 75). \quad (1)$$

Her begynder det at ligne noget bekendt for alle, der har kastet terninger og mønter og i den forbindelse studeret "antal gunstige udfald" delt med "antal mulige udfald". Første led er netop sådan en brøk. Hver overlevende kvinde er et gunstigt udfald (ikke bare for kvinden personligt, men altså også teknisk set i vores "forsøg") og n er antallet af mulige overlevende kvinder. Ifølge Store Tals Lov nærmer sådan en brøk sig sandsynligheden for et gunstigt udfald, som netop er $P(T > 75)$. Det betyder, at udgifter og indtægter automatisk kommer i balance i takt med, at selskabet sælger flere og flere kontrakter. Dette er illustreret i figuren, hvor vi har simuleret en række udfald og beregnet differencen fra (1).

GORILLATESTIKLER OG KAMPEN MELLEM KØNSKROMOSOMERNE

– Forskere er på jagt i evolutionens maskinrum

Danske forskere får i disse år tilsendt testikler fra aber fra hele Europa med det formål at finde ud af, hvad testiklernes størrelse, kvaliteten af sæden og kampen mellem kønskromosomerne betyder for de evolutionære mekanismer, som får arter til at opstå.

På Aarhus Universitet studerer professor Mikkel Heide Schierup en stor mængde data fra analyser af en gorillatestikel fra en stor "silverback"-hangorilla. Gorillaen døde af naturlige årsager, og den danske forsker har hentet dens testikler i en zoologisk have med det formål at studere dem i detaljer under både mikroskopet og i genetiske analyser. Det sker i et samarbejde med blandt andet Københavns Zoo og Rigshospitalet i København.



To chimpanseer. Foto: Shutterstock

aktiviteten af generne i testikler og sammenholde det med parringssystemer i en lang række abearter kan identificere gener, som har betydning for naturlig selektion. Sigtet er at identificere gener, som har betydning for artsdannelse og kan forklare, hvad der var med til at splitte mennesker fra chimpanser, og hvad der førte til, at det blev umuligt for mennesker og andre menneskeaber at få børn sammen,« forkla-

rer Mikkel Heide Schierup.

Stort evolutionært pres på kønskromosomerne

At Mikkel Heide Schierup studerer netop testikler og ikke alle mulige andre væv, skyldes et fund, som forskerne fra Aarhus Universitet gjorde i 2015. Her så de i en genetisk analyse, at kønskromosomerne hos mennesker og chimpanser udvikler sig anderledes end de andre kromosomer.

Forskere kan på forskellige måder studere genetiske ændringer i vores

Det gør det så alligevel, fordi størrelsen på testiklerne er bestemt af blandt andet gorillaens, chimpansens og menneskets parringsadfærd. Parringsadfærden er tæt koblet til den evolution, som har udviklet de forskellige arter, og Mikkel Heide Schierup studerer netop testiklerne for at blive klogere på evolutionen, og hvordan én forfader til alle nutidens aber er blevet til mere end 500 arter med hver deres udseende, hver deres parringsstrategi og hver deres testikelstørrelse.

»Vi håber på, at vi ved at studere

Man skulle måske tro, at testiklerne fra verdens største abe – og så endda den dominerende han i flokken – ville være nogle store og tunge af slagsen. Sådan ser verden dog ikke ud, for gorillaens testikler er næsten ynkeligt små i sammenligning med for eksempel mænds testikler eller chimpansetestikler. Det giver næsten ikke mening, at en kæmpe abe, der kan rive begge arme af et menneske uden at skulle anstrenge sig, render rundt med testikler på størrelse med peanuts.

Om forfatteren
Kristian Sjøgren,
videnskabsjournalist.
ksjoegren@gmail.com



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

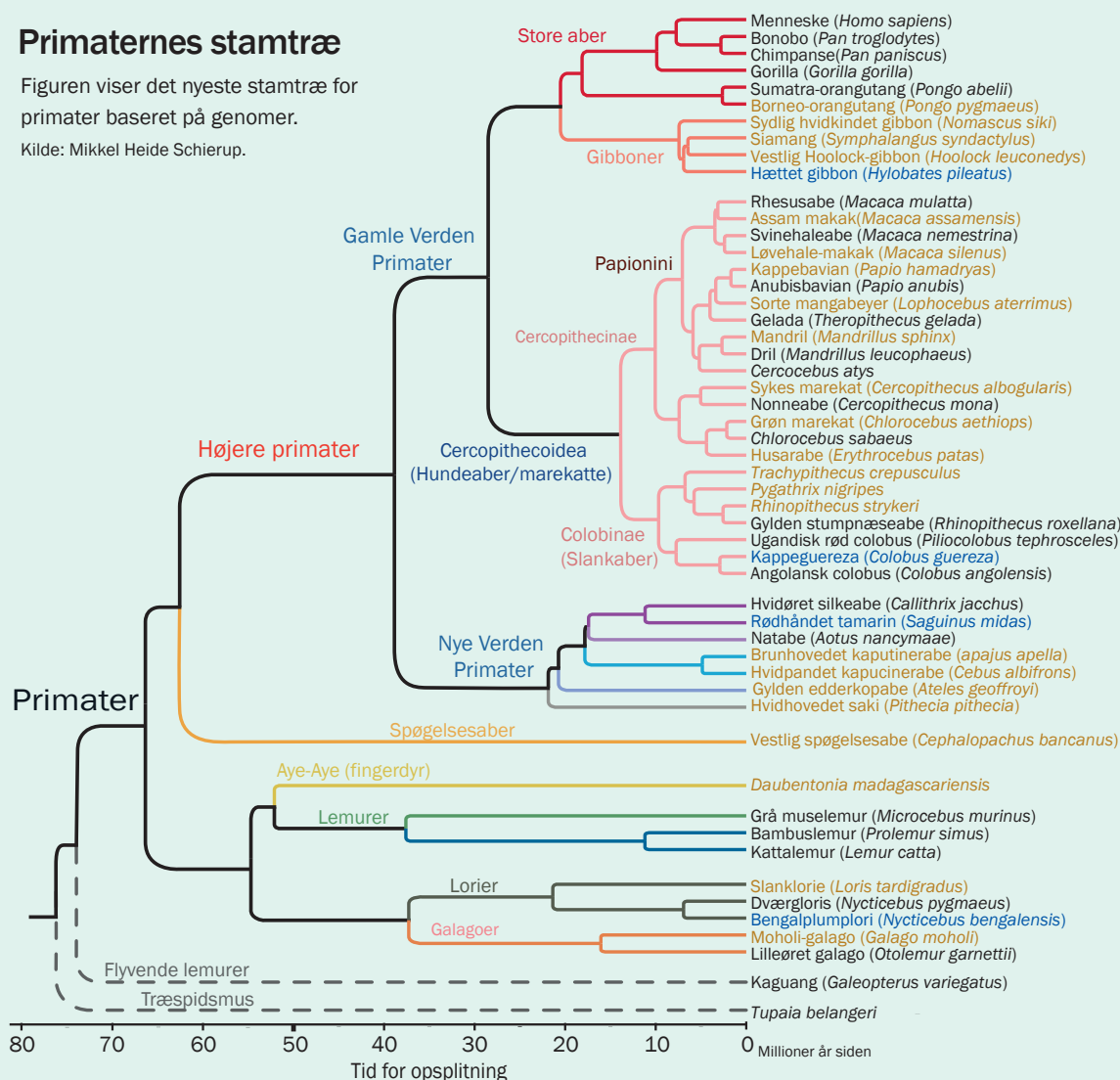
Artiklen er sponsoreret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers.

Danmarks Frie Forskningsfond dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Danmarks Frie Forskningsfond består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence. Formand for Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers er professor ved Københavns Universitet, Henrik Grum Kjærgaard. Læs mere på www.dff.dk

Primaternes stamtræ

Figuren viser det nyeste stamtræ for primater baseret på genomer.

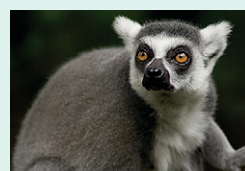
Kilde: Mikkel Heide Schierup.



Bonobo. Foto: Colourbox



Gorilla. Foto: Colourbox



Kattalemur. Foto: Wiki CC

Alle de store aber stammer fra en fælles forfader, der levede for omkring 25 millioner år siden. Med tiden udsprang flere og flere nye arter fra denne fælles forfader. Først kom den art, som med tiden blev til orangutangerne, for 12-19 millioner år siden. Gorillaernes slægtslinje så dagens lys for 10 millioner år siden, og mennesket og chimpanserne gik hver til sit omkring seks til syv millioner år siden. Gibbonaberne delte en fælles forfader med mennesker for omkring 20 millioner år siden. På trods af, at vi er splittet fra de andre menneskeaber for mange millioner år siden, er vi fortsat næsten identiske. Mennesket deler mellem 98 og 99 % af vores DNA-sekvens med vores nærmeste nulevende slægtninge på det evolutionære stamtræ. Siden splittet fra orangutangerne har mennesket udviklet sig til en bred vifte af forskellige arter, som med tiden er

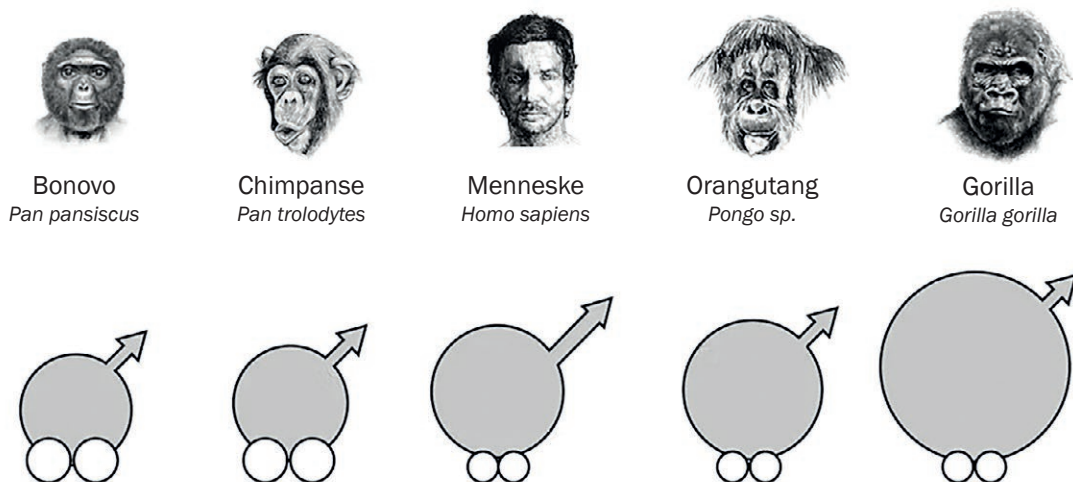
uddøde alle sammen på nær os. Nogle arter var i nogenlunde lige slægtslinje til os, for eksempel *Homo erectus*, det oprejste menneske, som både var i stand til at benytte stenredskaber og ild, og som med tiden udviklede sig til *Homo sapiens* – altså os. Andre arter har ikke været vores forfædre i lige linje, blandt andet neandertalerne, som fulgte et andet evolutionært spor. De var mere som fjerne fætre. På trods af, at *Homo sapiens* og neandertalerne var forskellige arter med hver deres udspring på det evolutionære træ, var vi ved det moderne menneskes ankomst til det europæiske kontinent for omkring 60.000 år siden, hvor neandertalerne havde levet i omkring en halv million år, alligevel ikke så forskellige, at vi ikke kunne få børn sammen. Disse børn har ikke været helt infertile, eftersom to procent af alle europæeres DNA i dag stammer fra neandertalerne.

arvemasse og blandt andet se, hvor der er sket store forandringer over tid. Analyserne fra 2015 viste blandt andet, at X-kromosomet er under et stærkt evolutionært pres, der har skabt større forandringer i kønskromosomet end i resten af arvemassen.

Mikkel Heide Schierup fortæller, at der findes regioner på X-kromosomet, som evolutionært set hele tiden mister diversitet, hvilket vil sige, at der mange gange i forhistorien er kommet genetiske varianter til, som har domineret de allerede

eksisterende varianter og udslettet dem fra arvematerialet. Det er med til at drive evolutionen.

»Vi vidste godt i forvejen, at kønskromosomerne X og Y er vigtige for artsdannelse. Det skyldes, at netop



Mikkel Heide Schierup forsker i evolutionære processer og benytter primært bioinformatik til at blive klogere på blandt andet menneskets fortid og artsdannelse.

Han er uddannet i matematik og biologi fra Biologisk Institut ved Aarhus Universitet og skrev sin ph.d. i populationsgenetik samme sted. Derefter gik turen til Edinburgh Universitet, inden han vendte hjem til Aarhus Universitet, hvor han i dag er professor ved Center for Bioinformatik.

Privat er Mikkel Heide Schierup gift og har fem børn.

kønskromosomerne ofte er afgørende for, at tæt beslægtede arter ikke kan få fertilt afkom. Heste og æsler er som eksempel to forskellige arter, der godt kan få afkom sammen, men afkommet, muldyret, kan ikke selv få noget afkom. Årsagen er blandt andet, at der er problemer med fordelingen af X- og Y-kromosomerne i sædcellerne hos hannerne, hvilket gør dem infertile,« forklarer Mikkel Heide Schierup.

Kønskromosomerne i intern konkurrence

På baggrund af opdagelsen i 2015 har forskerne fra Aarhus Universitet opstillet en hypotese for, hvorfor kønskromosomerne er vigtige for artsdannelsen, og Mikkel Heide Schierup studerer netop testikler fra blandt andet gorillaer for at eftervise den hypotese.

Forskernes hypotese går på, at konkurrence mellem X-kromosomet og Y-kromosomet i dannelsen af sædcellerne under det, som hedder spermatogenesis, spiller en stor rolle i det evolutionære maskinrum, der leder til dannelsen af nye arter.

Under spermatogenesis bliver kønskromosomerne X og Y fordelt mellem sædcellerne. Alt andet lige burde der derfor være lige mange sædceller med X og med Y. Ligesom i alle andre aspekter af livet sker tingene dog ikke altid, som forventet, og evolutionen er også på spil i spermatogenesis, hvor kampen

mellem X- og Y-kromosomerne kan lede til, at fordelingen af X og Y ikke altid er lige.

Når fordelingen forskydes i den ene eller anden retning, har det betydning for antallet af hanner og hunner i afkommet. Vinder X-kromosomerne kampen i testiklerne, giver det flere hunner, og selvom det er skidt for arten som helhed, kan man ikke undgå, at det sker. Omvendt vil flere hunner inden for arten betyde, at det vil være en evolutionær fordel for dem, der laver flere hanner, fordi der alt andet lige vil være flere hunner for deres han-unger at parre sig med og derigennem sikre artens overlevelse.

»Det er ikke den normale naturlige selektion, men naturlig selektion på kønskromosomerne, hvilket kan være motoren for, at der er stærk naturlig selektion på kønskromosomerne, og de dermed er med til at drive artsdannelsen fremad. Man kan i den sammenhæng forestille sig, at de mekanismer, som giver X-kromosomet en fordel i forhold til at komme i sædcellerne, samtidig går ud over fertiliteten. Det vil sætte gang i andre evolutionære mekanismer, som prøver at modarbejde det, og når de her ting løber løbsk, ender man i en situation, hvor arter opstår, når udviklingen af X og Y i forskellige dele af en arts udbredelse er kommet så langt fra hinanden, at når de bringes sammen, kan de ikke længere lave et

match og få fertilt afkom ud af det. Dyrene kan i sig selv være ganske levedygtige og fine at se på, som for eksempel med muldyret. Fertiliteten er bare slået i stykker,« siger Mikkel Heide Schierup om forskernes hypotese, som de i øjeblikket forsøger at teste.

Gorillaer har små testikler

I 2015 gjorde forskerne også et andet fund, nemlig at selektionen påvirker de forskellige abearter forskelligt. Over en bred kam virker den naturlige selektion på X- og Y-kromosomerne stærkere hos de arter, hvor hannerne er dominerende og har eneret over hunnerne, hvorimod selektionen er svagere hos de arter, hvor hunnerne parrer sig med en hel masse hanner.

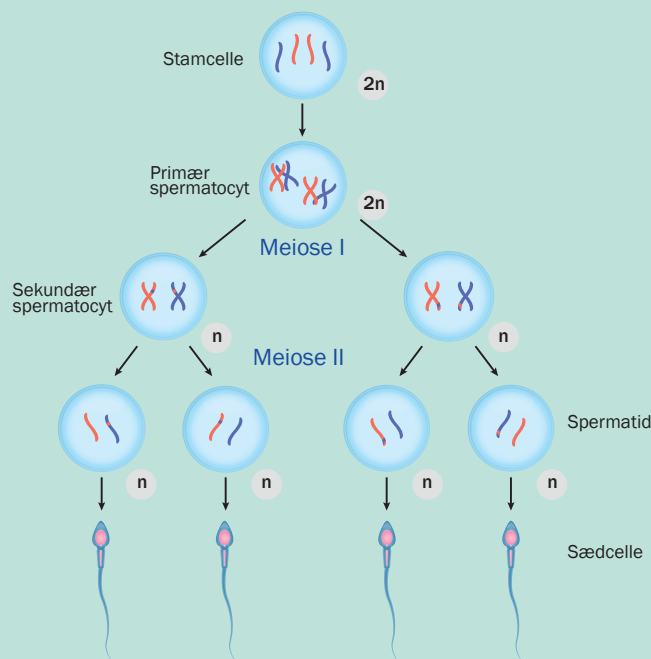
Hunnerne hos bonoboer og chimpanser er som eksempler villigere til at parre sig med en hel masse hanner. Det gør, at der kommer stor spermkonkurrence mellem hannerne. For at vinde den spermkonkurrence producerer hannerne store mængder sæd, og det er årsagen til chimpanse- og bonobohannernes store testikler.

Omvendt har en silverback hangorilla eneret over hunnerne i sit harem, så hos gorillaerne er der ingen grund til at producere en overflod af sædceller. Det er nok med bare lige dem, der skal til for at få arbejdet udført. Resultatet er små testikler blandt gorillahannerne.

Spermatogenese

Spermatogenesisen er den proces, hvormed hannens sædceller bliver dannet. Processen starter med én stamcelle og ender ideelt set med fire sædceller. Sædcellerne dannes ved meiosen, hvor kromosomerne i én stamcelle bliver fordelt i to datterceller, som hver især modtager enten et X-kønskromosom eller et Y-kønskromosom. Befrugter en sædcelle med et X-kromosom et æg, bliver afkommet en hun. Indeholder sædcellen et Y-kromosom, bliver afkommet en han. Meiosen adskiller sig fra en anden proces, mitosen, i og med, at kromosomerne bliver fordelt i dattercellerne ved meiose, hvorimod dattercellerne modtager en kopi af alle kromosomerne i mitosen. Mitosen er det, som foregår ved normal celledeling.

Hele spermatogenesisen tager omkring to måneder fra stamcelle til sædcelle. I mandens testikler bliver der produceret i omegnen af 1.000 sædceller i sekundet, og når først sædcellerne er fuldt ud modne, kan de overleve og være befrugtningsdygtige i testiklerne i omkring to uger. Sædcellerne er dog ret varmefølsomme og skal helst opbevares ved 35 grader. Derfor kan for eksempel en feber slå en stor del af mandens sædceller ihjel.



Ved en udløsning sender en mand i omegnen af 300 millioner sædceller op i kvinden. Hos abearter med stor spermkonkurrence er tallet meget højere, mens det er lavere hos arter med mindre eller ingen spermkonkurrence.

Grafik: Shutterstock

»De evolutionære processer på X- og Y-kromosomet fungerer stærkest, når der ikke er konkurrence mellem hannernes sædceller om at befrugte ægget i en hun. Når sædcellerne fra forskellige potentielle fædre konkurrerer med hinanden, nytter det ikke noget, hvis de ikke er i deres bedste form, og der er mange af dem. Omvendt skal sædcellerne i gorillaens tilfælde ikke kæmpe mod andre hanners sædceller, så her er der plads til kamp mellem X- og Y-kromosomet om at komme ind i sædcellerne,« forklarer Mikkel Heide Schierup.

Undersøger genudtryk under dannelsen af sædceller

I forskningsarbejdet er Mikkel Heide Schierup via Københavns Zoologiske Have indgået i et samarbejde med zoologiske haver over hele Europa, så forskerne på Aarhus Universitet og på Rigshospitalet får tilsendt testikler fra aber, når de dør. Formålet er at finde ud af, hvad der sker i sædcellerne under konkurrencen mellem X- og Y-kromosomet, hvad der medierer den konkurrence, og om den er forskellig mellem arterne.

Forskerne forestiller sig, at der mel-

lem arterne og parringsmønstrene er forskelle i, hvilke gener der bliver udtrykt under spermatogenesisen.

»Mindst 20.000 gener bliver udtrykt under spermatogenesisen. Vi vil se, om nogle evolutionært ændrer sig på tværs af abearterne, og om det passer på vores hypotese,« forklarer Mikkel Heide Schierup.

I analyserne gør forskerne brug af de nyeste teknologier indenfor gensekventering af enkelte celler. For blot få år siden var det ikke muligt at analysere på det genetiske udtryk i enkelte celler, men det er det i dag, og derved bliver det muligt at identificere genudtrykket i titusindvis af individuelle celler og placere hver celle i det rette udviklingstrin i spermatogenesisen. Derefter er det et bioinformatisk jongleringsarbejde at afgøre, hvordan genudtrykket ændrer sig undervejs fra stamcelle til færdigmodnet sædcelle. Mikkel Heide Schierup fortæller, at forskerne specifikt vil studere genudtrykket i cellerne op til celledeling. Indledningsvist er stamcellerne diploide, hvilket vil sige, at de har to kromosomsæt. Hos hanner er der således

både et X- og et Y-kromosom, men på et tidspunkt deler de sig, og så bliver X-kromosomet flyttet over i den ene dattercelle, mens Y-kromosomer ryger over i den anden dattercelle. Processen hedder meiosen, og resultatet er haploide celler med kun ét kønskromosom, der kan blive parret med en haploid ægcelle, der indeholder et X-kromosom.

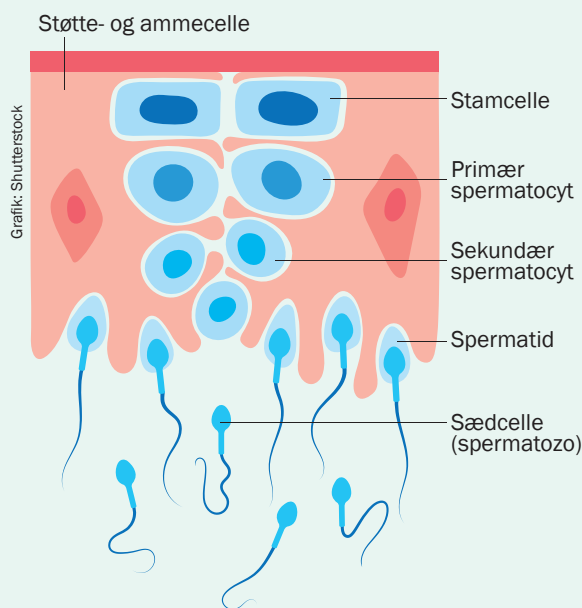
»Her burde forholdet mellem X og Y være én til én, men det er det ikke, når der er konkurrence mellem kønskromosomerne. Kan vi identificere, hvilke gener der er aktive i skævvridningen af fordelingen af kønskromosomerne, og kan vi gøre det i forskellige arter af aber, kan vi også identificere, hvilke gener der indgår i den evolutionære kamp mellem kønskromosomerne, og hvordan de er med til at påvirke artsdannelse,« forklarer Mikkel Heide Schierup.

Mænd har elendig sæd – og det er evolutionens skyld

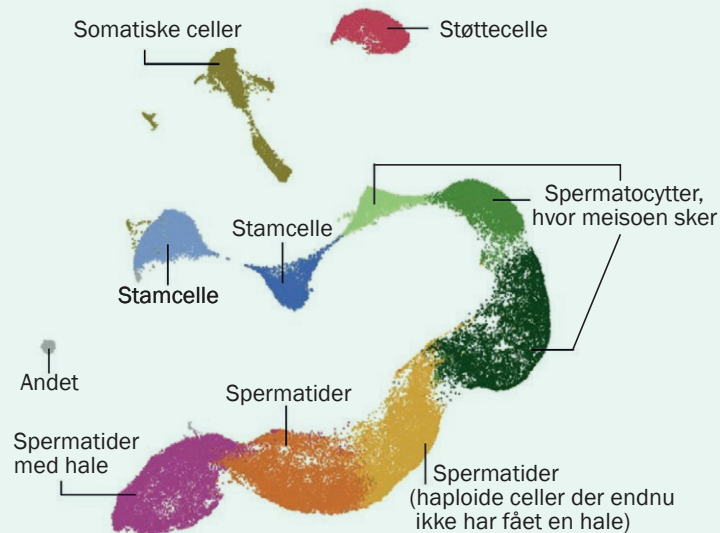
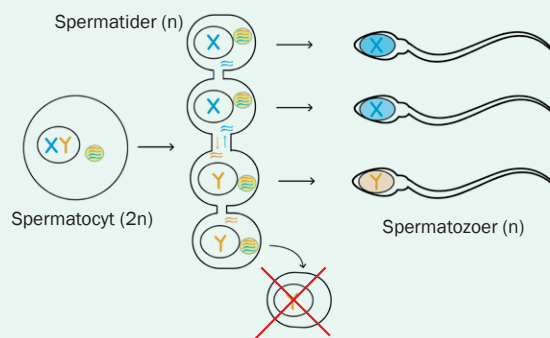
Hvis først forskerne kan identificere de relevante gener for artsdannelse, kan de også finde ud af, hvad der er de relevante mekanismer i denne evolutionære kamp.



DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK



Til venstre ses de overordnede stadier i spermatogenesis. Forskerne vil teste deres hypotese om konkurrence mellem kønskromosomerne (figuren øverst til højre) ved at kortlægge, præcis hvilke gener der bliver udtrykt i de enkelte stadier af spermatogenesis. Det kan man i dag med såkaldt enkeltcelle-sekventering, hvor udtrykket af hvert gen bestemmes i ti tusindvis af celler fra hele spermatogenesis. Gennem bioinformatisk analyse kan man ud fra genudtrykket placere den enkelte celle tidsmæssigt i spermatogenesis og dermed se, hvordan udtrykket af det enkelte gen ændrer sig i processen. Figuren nederst til højre viser sådan en analyse fra 65.000 celler fra forskellige abearter.



Efter Murat, Mbengue og Winge et al (2023).

Forskerne har indtil videre i deres forskningsarbejde fundet forskellige kandidater i kønskromosomernes arvemasse, blandt andet nogle gener, som der er rigtig mange kopier af. Tilsvarende gener er også i bananfluer kendt for at være involveret i udvikling af nye arter, og selvom det ikke er givet, at det er det samme i aber, har Mikkel Heide Schierup det på fornemmelsen.

Et andet interessant emne at undersøge er, om udtrykket af den evolutionære kamp adskiller sig genetisk mellem X-kromosomer og Y-kromosomer, og om det kan være med til at forklare, hvorfor det ene kønskromosom ser ud til at have større betydning for artsdannelsen end det andet. Foruden at blive klogere på mekanismerne bag artsdannelse vil forskerne også gerne blive klogere på, hvordan den evolutionære kamp i testiklerne påvirker fertiliteten, og hvad det har af betydning for arters overlevelse og dannelsen af nye arter.

Når kønskromosomerne er i indbyrdes kamp, kan det ikke undgås, at genetiske forandringer, der styrker det ene kønskromosom i den indbyrdes kamp, kommer med en risiko for at ødelægge spermatogenesis en smule. Det er med andre ord ikke en ulempe for et X-kromosom, der formår at vinde kampen mod Y-kromosomet, at lidt flere sædceller dør i processen. Det kan det til gengæld være for arten.

Her er det interessant at holde sig for øje, at menneskets spermatogenesis faktisk er ret elendig med et meget lavt udbytte. For hver gang én stamcelle burde blive til fire sædceller, kommer der kun 1,3 sædceller ud af det. Det peger på, at vores spermatogenesis er ret ødelagt, muligvis af den indbyrdes evolutionære kamp mellem kønskromosomerne. Hos vores nærmeste nulevende slægtning ser tingene meget bedre ud, for én stamcelle i en chimpanses te-

stikler udmønter sig i omkring 3,5 sædceller.

»1,3 har måske lige akkurat været nok til i kombination med vores parringsstrategi at sikre vores arts overlevelse. Større spermkonkurrence bør give bedre spermatogenesis, og det peger på, at vi fra naturens side nok er ret monogame, fordi 1,3 formentlig ikke er nok til at klare sig i en spermkonkurrence. Man kan så spekulere i, at fordi det kun lige akkurat har været nok, og at vi i dag bliver udsat for forskellige miljøfremmede stoffer, er det årsagen til, at op mod 10 % af alle mænd har reduceret sædkvalitet, og at mange derfor skal have hjælp til at gøre en kvinde gravid,« siger Mikkel Heide Schierup.

I lyset af ovenstående sammenhæng bør gorillaens spermatogenesis også være rimelig i hundene. Det samme bør mandrillens, som også lever i et harem, mens chimpanser og bonoboer knalder på kryds og tværs.

»Der er mange eksempler på, at aber gør det på den ene eller anden måde, hvilket kan være med til at bekræfte vores hypotese om en sammenhæng mellem den evolutionære kamp mellem kønskromosomerne, parringsmønstre, spermatogenese og spermkonkurrence,« siger Mikkel Heide Schierup.

Vil blive klogere på menneskets fortid

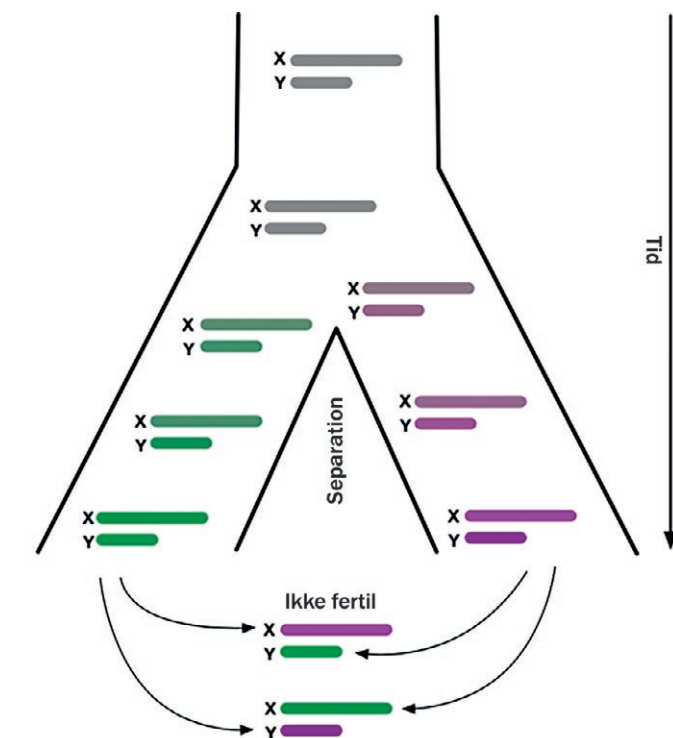
Lige nu er forskerne på et punkt i deres forskning, hvor de kan identificere, hvor i spermatogenesen de enkelte gener er aktive, og hvad det muligvis kan have af betydning for den evolutionære kamp mellem kønskromosomerne.

Foruden at studere mekanismerne i rene arter vil forskerne også gerne studere dem i hybrider. For eksempel findes der seks arter af bavianer og mange gange i de samme zoologiske haver. De kan godt finde på at parre sig med hinanden. Her vil Mikkel Heide Schierup med sine kollegaer studere testiklerne for at finde tegn på, at fertiliteten er forringet gennem de identificerede genetiske mekanismer.

»Hvis vi kan identificere, hvorfor X og Y ikke passer sammen, vil det være som at se de evolutionære processer "in action". Vi kan studere evolutionen i netop det øjeblik, hvor én art er splittet til to arter, som stadig kan få afkom, men som ikke længere kan få fertilt afkom. Så kan vi nærstudere mekanismerne i artsdannelsen på det genetiske niveau, men stadig kun i testiklerne,« forklarer Mikkel Heide Schierup.

Gør forskere klogere på mennesker og andre menneskearter

Allerede nu har forskerne flere publikationer af deres videnskabelige undersøgelser på vej. Blandt andet kommer de snart ud med genomsekventeringsanalyser af en lang række af de store abearter. Det vil danne den genetiske baggrund for at tolke på de data, som forskerne finder i testiklerne. Forskerne har



Figuren illustrerer den overordnede hypotese, som Mikkel Schierup arbejder med, at konkurrence mellem kønskromosomerne i dannelsen af sædcellerne kan være en vigtig spiller i artsdannelse. Hvis der sker en geografisk opsplitning i en arts udbredelse vil udviklingen af X- og Y-kromosomerne på grund af den indbyrdes konkurrencesituation kunne føre til, at de geografisk adskilte populationer ikke længere vil matche og få fertilt afkom, hvis de igen bliver ført sammen.

også studier på vej, hvori de har identificeret de genetiske forskelle med relevans for artsdannelse mellem X og Y. Det næste skridt bliver at sammenholde de genetiske data med parringsmønstre.

Når forskerne i slutningen af det femårige forskningsprojekt er færdige, kan de ikke bare sige noget om, hvorfor gorillaer har små testikler. De kan også sige en masse om vores egen art. Blandt andet håber Mikkel Heide Schierup, at forskningsresultatet kan kaste lys over, hvorfor mennesker øjensynligt har været i stand til at få børn med neandertalerne. Noget tyder dog på, at drengebørn af denne hybriddannelse ikke har været særligt fertile, og måske kan forskerne i deres undersøgelser finde ud af, hvorfor de formentlig ikke har været det.

Et andet perspektiv er at forstå, hvad der helt præcis skete for seks millioner år siden, da forfædrene

til henholdsvis mennesker og chimpanser gik hver til sit. Hvilken genetisk mekanisme var på spil, da vi gik fra at være én art til at være to?

»Vi kan ikke på samme måde som i bananfluer og mus lave eksperimenter, så vi kan kun observere, hvad der er sket de seneste mange millioner af år. I nogle tilfælde er det klart, at artsdannelsen er færdig, for her kan arterne overhovedet ikke få afkom sammen, for eksempel gorillaer og mennesker. I andre tilfælde er artsdannelsen stadig i gang, for her kan arterne få hybrider, som ganske vist ikke er fuldt fertile eller helt infertile. Vi vil gerne forstå, hvorfor hybriderne ikke klarer sig så godt, og hvorfor specielt hanhybriderne er nogle fertile skrav. Det er et definerende skridt i artsdannelsen og tager ifølge vores hypotese sit udgangspunkt i kampen mellem kønskromosomerne i hannens testikler,« siger Mikkel Heide Schierup. ■

Videre læsning:
theconversation.com/
why-did-humans-evolve-
big-penises-but-small-
testicles-71652.

Murat, F., Mbengue, N., Winge, S.B. et al. The molecular evolution of spermatogenesis across mammals. Nature 613, 308–316 (2023). doi.org/10.1038/s41586-022-05547-7



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Om forfatterne



Nicoline Sørensen
nicoline.sorensen@gmail.com



Andreas Østed
andreas_osted@live.dk



Clara Wolff
clara.jespersen@outlook.dk



Rebekka Thomsen
rebekka.kaysen@gmail.com

Alle studerende på
Datavidenskab, Aarhus
Universitet.



Palle Villesen er lektor,
ph.d. ved Center for
Bioinformatik (BiRC),
Aarhus Universitet.
Han har været vejleder
på projektet omtalt i
artiklen.
palle@birc.au.dk



ET DATAANALYTISK PERSPEKTIV PÅ FÆDREBARSEL

Nybagte fædre holder i gennemsnit 34 dages barsel. En gruppe studerende i datavidenskab har undersøgt, hvad dette gennemsnit egentlig dækker over. De finder store forskelle i fædres barsel afhængig af uddannelsesniveau, typen af job, og hvor i landet man bor.

I alle samfundsrelevante problemstillinger – lige fra klimaets udvikling over pandemihåndtering til arbejdsmarkedsforhold – spiller data en afgørende rolle. Hvordan vi indsamler og bruger disse data er i høj grad med til at afgøre, hvad vi som et videnssamfund opnår af viden om problemstillingerne og beslutter af mulige løsninger.

Set fra et dataanalytisk perspektiv er det ikke afgørende, om det er en naturvidenskabelig eller samfundsaglig problemstilling, man kigger på. Det er grundlæggende de samme matematiske metoder, man tager i anvendelse for at finde ud af, hvad data kan fortælle os.

Vi er fire studerende på Datavidenskab ved Aarhus Universitet, som har lavet et projekt, hvor vi analyserer offentligt tilgængelige data om fædrebarsel. Vi valgte emnet, fordi fædrebarsel har været, og stadig er, et højaktuelt, omdiskuteret emne i medierne. Vi ønskede at bruge dataanalyse og matematisk modellering til at undersøge og udfordre

det generaliserende billede af fædrebarsel i medierne.

I medierne er udgangspunktet for argumentation om fædrebarsel ofte det gennemsnitlige antal barselsdage, som i 2019 (nyeste tilgængelige data) var cirka 34 arbejdsdage (knap 5 uger) for fædre. Men hvad dækker gennemsnittet egentlig over,

Ny barselsaftale

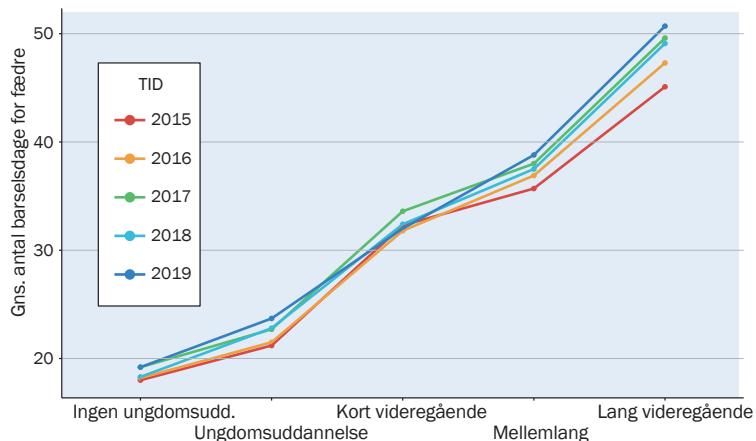
EU vedtog et nyt tiltag i 2019, som indebærer, at alle forældre i medlemslandene skal have to måneders forældreorlov, der ikke kan overdrages til deres partner – dette kaldes også for øremærket barsel. På den baggrund indgik folketinget 2. oktober 2021 en ny barselsaftale, som trådte i kraft 2. august 2022. Den nye aftale betyder, at fædre fremover vil have 11 ugers øremærket barsel i modsætning til den nuværende lovgivning, hvor de har to ugers øremærket barsel.

når vi dykker ned i data? Når vi med matematisk modellering undersøger fædrebarsel på flere parametre såsom fædrenes uddannelsesniveau, arbejdsbranche og geografisk placering, kan vi se, at der er store forskelle i gennemsnittet grupperne imellem. Derfor er det ikke retvisende at bruge det samlede gennemsnit for alle fædre, når der skal debatteres fædrebarsel. Netop det vil vi gerne belyse yderligere ved at kigge nærmere på data på disse områder.

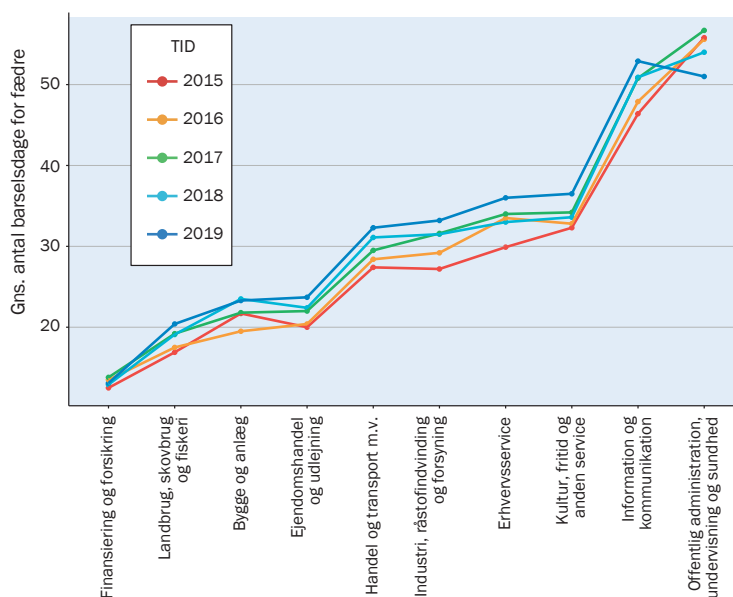
Uddannelsesniveau og branche påvirker barselslængden

Det gennemsnitlige antal barselsdage for fædre indenfor forskellige uddannelsesniveauer viser en voldsom forskel (figur 1). Fædre uden ungdomsuddannelse holder i gennemsnit under 20 dages barsel, mens fædre med en lang videregående uddannelse holder mere end 50 dages barsel i gennemsnit – altså over 2,5 gange så meget. Der er et tydeligt billede af, at højere uddannelsesniveau resulterer i mere fædrebarsel. En matematisk model, som tager højde for fædrenes uddannelsesniveau, forklarer hele 70% af variationen – altså kan cirka 70% af, hvor meget barsel mænd i gennemsnit holder, forklares alene ud fra deres uddannelsesniveau.

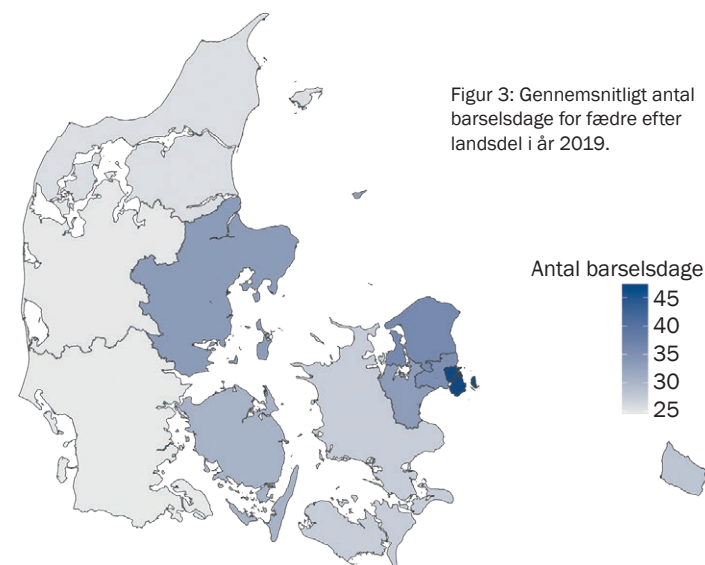
Der er også store forskelle i barselslængde indenfor forskellige brancher (figur 2). Fædre ansat indenfor brancherne “landbrug, skovbrug og fiskeri” og “byggeri og anlæg” holder under 20 dages barsel, mens fædre indenfor den offentlige sektor, samt “finansiering og forsikring” holder over 50 dages barselsorlov. Intuitivt vil man forvente en høj korrelation mellem branche og uddannelsesniveau, som man bør tage højde for. En branche som “finansiering og forsikring” vil formodentligt have en højere andel ansatte med højt uddannelsesniveau og derfor også et højere gennemsnitligt antal barselsdage. Derudover vil man formode, at der er en naturlig forskel brancherne imellem, da der er forskel på overenskomster og generelle forhold i hver branche. For eksempel kan forskellen skyldes,



Figur 1: Gennemsnitligt antal barselsdage for fædre mod uddannelsesniveau efter årstal.



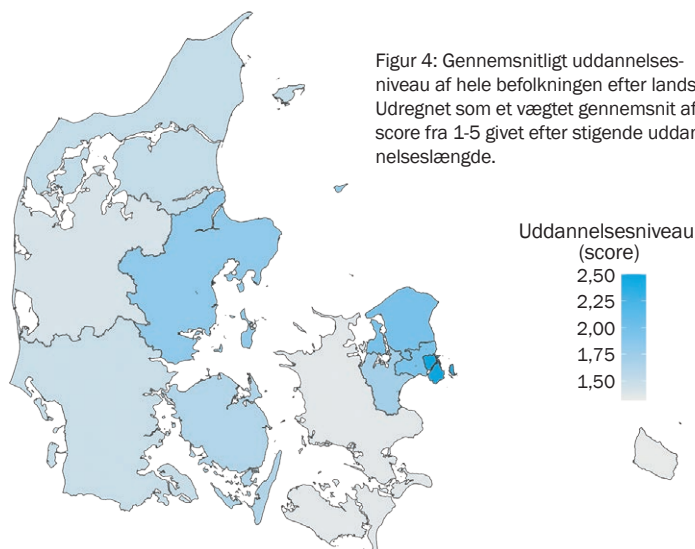
Figur 2: Gennemsnitligt antal barselsdage for fædre mod brancher efter årstal.



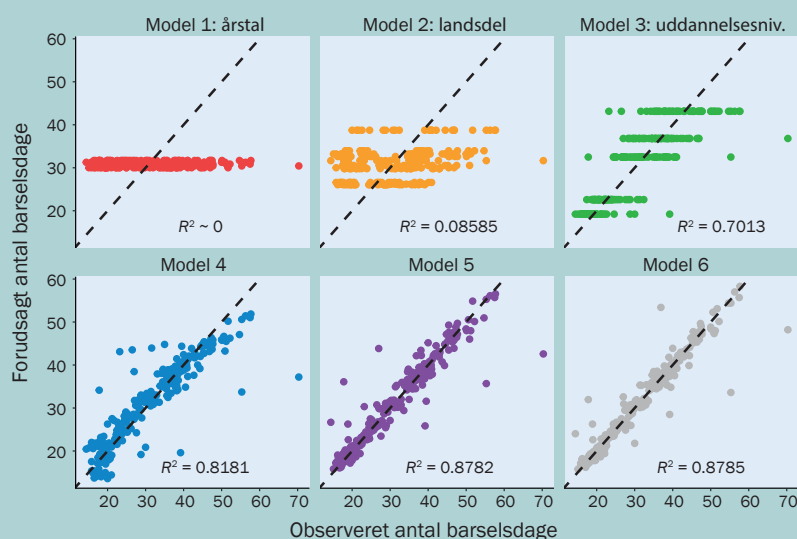
Figur 3: Gennemsnitligt antal barselsdage for fædre efter landsdel i år 2019.

at ansatte i den offentlige sektor har adgang til gode barselsforhold, mens der i landbruget ikke er samme muligheder, blandt andet fordi

andelen af selvstændige er højere i denne branche, og de derfor ikke har en overenskomst, som sikrer adgang til barsel.



Figur 4: Gennemsnitligt uddannelsesniveau af hele befolkningen efter landsdel. Udregnet som et vægtet gennemsnit af en score fra 1-5 givet efter stigende uddannelseslængde.



Figur 5: Figurene viser det forudsagte antal barselsdage mod observeret antal barselsdage vist med modeller af stigende kompleksitet.

Hvert punkt viser et gennemsnitligt antal barselsdage for et bestemt år i en bestemt landsdel, hvor faderen har et bestemt uddannelsesniveau. Den stiplede linje ved hver model viser en ret linje med hældning 1 og skæring i 0,0. Jo tættere punkterne ligger på denne linje, jo bedre forklarer modellen de observerede data.

Model 1, 2 og 3 viser gennemsnitligt antal barselsdage efter henholdsvis årstal, landsdel og uddannelsesniveau.

Model 4 viser barselsdage efter den lineære kombination af både årstal, landsdel og uddannelsesniveau.

Model 5 viser barselsdage efter den lineære kombination af både årstal, landsdel og uddannelsesniveau, samt interaktionen af landsdel og uddannelsesniveau, hvilket dermed tillader, at effekten af uddannelsesniveau på antal barselsdage afhænger af landsdelen.

Model 6 viser gennemsnitligt antal barselsdage efter interaktionen mellem både årstal, landsdel og uddannelsesniveau. Dette tillader dermed, at effekten af uddannelse på antal barselsdage afhænger af både året og landsdelen. Denne model viser sig dog ikke at være signifikant bedre end model 5 til at beskrive dataene, hvorfor den er farvet grå.

Ved hver model er desuden angivet forklaringsgraden, R^2 , justeret efter kompleksiteten af modellen.

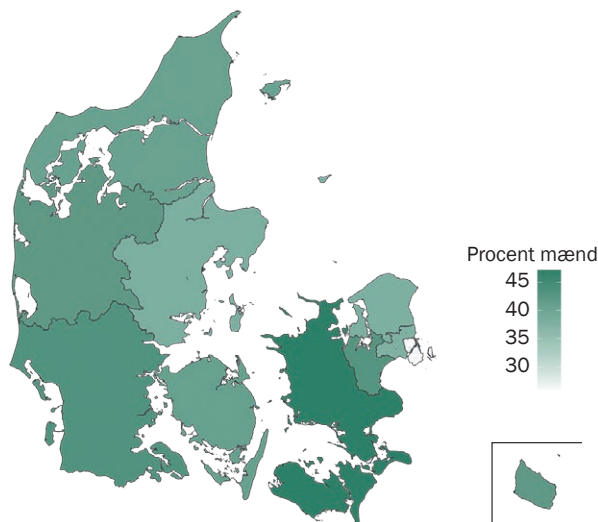
Uddannelse har ikke samme effekt i alle landsdele

Ser vi mere geografisk på emnet, er der også meget store forskelle i længden af fædrebarsel på tværs af de forskellige landsdele i Danmark (figur 3). De største kontraster ses mellem landsdelene med uddannelsesbyer og resten af landet. I landsdelen "Byen København" tager fædre i gennemsnit cirka 47 dages barsel, i Nordsjælland 36 dage, mens Vestjylland og Sydjylland begge ligger på cirka 25 dage. Der er mange mulige forklaringer, da hver landsdel jo har forskellige sammensætninger i forhold til uddannelsesniveau, branchefordeling og alder ligesom der måske kan være kulturelle forskelle landsdelene imellem.

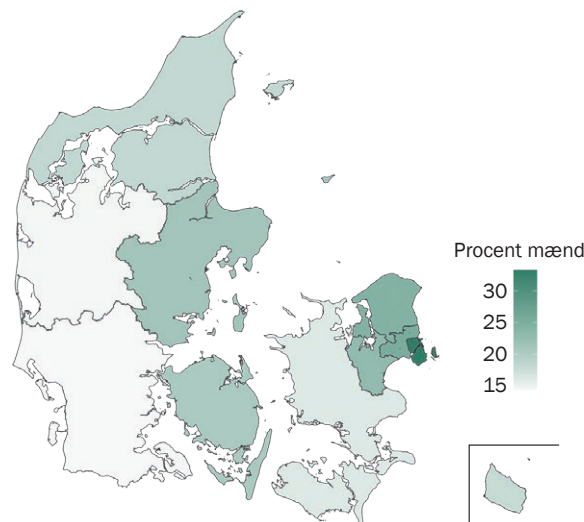
For at undersøge, om uddannelsesniveauet er forskelligt i landsdelene, har vi udregnet et vægtet gennemsnitligt uddannelsesniveau for hver landsdel (figur 4). Geografiske forskelle i uddannelsesniveau viser samme tendens som gennemsnitligt antal barselsdage. Dette er ingen overraskelse, da uddannelsesniveau jo hænger tæt sammen med antallet af barselsdage. Så kan det generelle uddannelsesniveau i landsdelene sikkert forklare en stor del af forskellen i antal barselsdage på tværs af landsdelene.

For at undersøge dette nærmere kan man bruge matematisk modellering, hvor der tillades forskellig effekt for hver af kombinationerne af landsdel og uddannelsesniveau. Til det formål har vi opstillet 6 modeller (såkaldte multiple regressionsmodeller) med stigende kompleksitet (figur 5). Disse viser effekten af de forskellige variable "uddannelse", "landsdel" og "tid (årstal)" – alene eller i kombination og med uden interaktion mellem variable – på det gennemsnitlige antal barselsdage.

Det viser sig, at en model, der indeholder alle variable på én gang og som også tager højde for interaktionen mellem uddannelse og landsdel (og dermed tillader, at effekten



Figur 6: Procent af mænd i hver landsdel, som arbejder inden for én af brancherne, hvor der bliver holdt færrest barselsdage.



Figur 7: Procent af mænd i hver landsdel som arbejder inden for én af brancherne, hvor der bliver holdt flest barselsdage.

af uddannelse er forskellige i for eksempel Vestjylland og København) forklarer hele 88% af variationen i vores data. Denne model viser eksempelvis, at effekten af en lang videregående uddannelse på længden af fædrebarsel kun er halvt så stor i Vestjylland som i Nordsjælland.

Branchen har større betydning end uddannelsesniveauet

Vi forventer som tidligere nævnt en stærk korrelation mellem, hvilken branche fædrene arbejder i og deres uddannelsesniveau. Derfor har vi opstillet en anden matematisk model, hvor vi undersøger effekten af de brancher, som indgår i vores data, social status, tid, samt interaktionen af social status og branche på det gennemsnitlige antal barselsdage for fædrene. Social status er angivet som enten "lønmodtager på grundniveau", "lønmodtager på mellemniveau", eller "topledere/lønmodtager på højeste niveau". Denne model forklarer hele 95% af variationen i dataene. Modellen fortæller blandt andet, at inden for "Industri, råstofindvinding og forsyningsvirksomhed", har man meget stor gevinst af at være topledere eller lønmodtager på højeste niveau, mens der inden for "offentlig administration, undervisning og sundhed" ikke ses en statistisk signifikant effekt af samme sociale status. Igen kan dette formodentlig forklares af forskellige overenskomster og forhold brancherne imellem.

Ydermere kan vi se, at der er stor forskel på fordelingen af ansatte i de forskellige brancher på tværs af landsdelene (se figur 6 og 7). I landsdele med få barselsdage er procentdelen af mænd i brancher med kort barsel stor. Modsat er procentdelen af mænd i brancher med et højt antal barselsdage stor i de landsdele med et højt antal barselsdage. Dette underbygger den store effekt af branche på fædrebarsel.

Sammenligning af landsdele gør forskellene tydelige

Det kan være svært at forholde sig til matematiske modeller, så

for at gøre modellernes resultater mere tydelige, har vi valgt at sammenligne landsdelene Vestjylland og Nordsjælland, da det er to landsdele med stor kontrast indenfor de undersøgte parametre. Med udgangspunkt i disse to landsdele, undersøger vi, hvor mange der arbejder i de forskellige brancher. Den største forskel finder vi i branchen med færrest barselsdage "Landbrug, skovbrug og fiskeri" samt branchen med flest barselsdage "Finansiering og forsikring". Således er procentdelen af personer i branchen "Landbrug, skovbrug og fiskeri" markant større

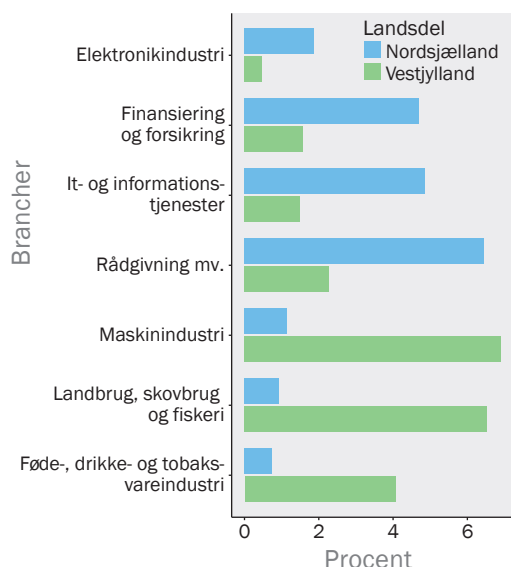
Multipel regression

Lineær regression er en matematisk metode til at undersøge sammenhængen mellem to variable – den uafhængige (også kaldet forklarende) variabel og den afhængige variabel. Da der i simpel lineær regression kun er en enkelt uafhængig variabel, kan man plote den afhængige variabel (y) mod den uafhængige variabel (x) i et almindeligt 2-dimensionalt koordinatsystem. Multipel regression er en naturlig udvidelse af lineær regression, men her er der to eller flere uafhængige variable til at beskrive den afhængige variabel. For mere end to uafhængige variable er det derfor ikke muligt at visualisere punkterne i hverken et 2-dimensionalt eller 3-dimensionalt koordinatsystem. Nedenfor er vist forskellen på en simpel lineær regressionsmodel og en multipel regressionsmodel (med k afhængige variable):

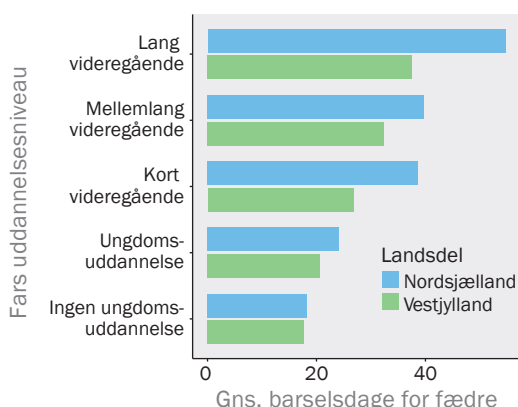
$$y = \beta_0 + \beta_1 x$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k$$

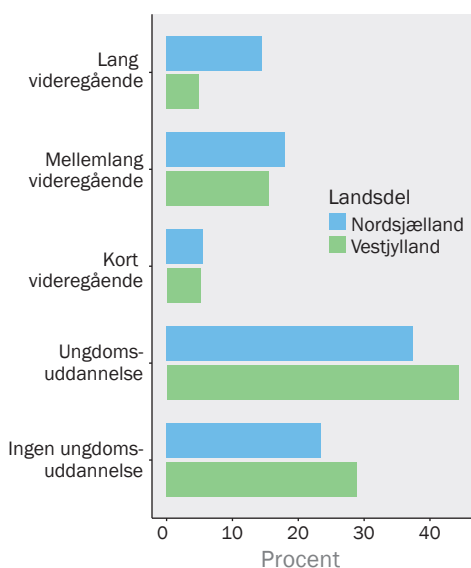
Når man undersøger, hvor godt en model passer til data, kigger man på R^2 -værdien, som er et mål for den samlede afvigelse fra model til data – altså hvor godt et fit, modellen laver. En justeret R^2 -værdi tager højde for modellens kompleksitet og vil derfor være lavere end den ikke-justerede R^2 .



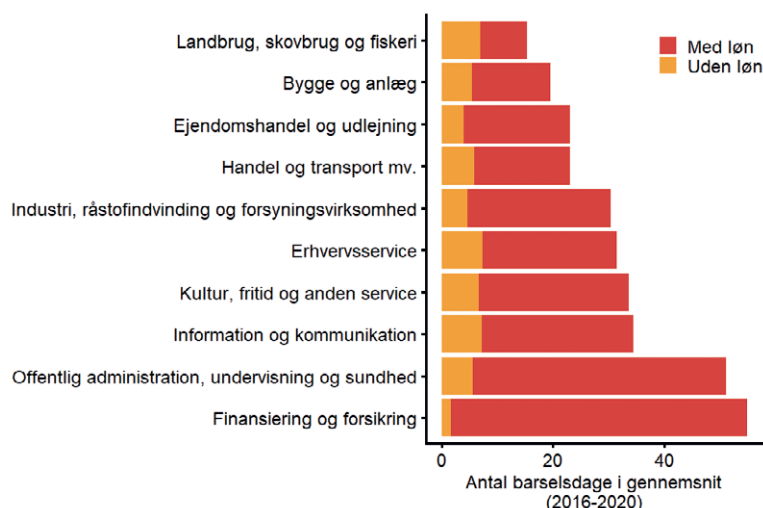
Figur 8: Brancher med den største procentvise forskel i antal ansatte i Nordsjælland og Vestjylland.



Figur 9: Gennemsnitlige antal barselsdage for fædre med forskellige uddannelser i Nordsjælland og Vestjylland.



Figur 10: Andel af personer med forskellige uddannelsesniveauer i Nordsjælland og Vestjylland.



Figur 11: Fordeling af barselsdage på brancher.

i Vestjylland med over 6 % i forhold til Nordsjælland, hvor det er under 1 %. Omvendt er der næsten 5 % indenfor "Finansiering og forsikring" i Nordsjælland, og kun knap 2 % i Vestjylland (figur 8). Det er også en interessant observation, at brancherne, som flest arbejder indenfor i Vestjylland, er mere fysisk krævende jobs, mens det i Nordsjælland i højere grad består af stillesiddende jobs, som kræver en højere uddannelse. Disse tal understøtter branchernes indflydelse på antal barselsdage, da fædre i Vestjylland gennemsnitligt tager markant kortere barsel end fædre i Nordsjælland.

Endvidere er der stor forskel på længden af barsel i de to landsdele for fædre med samme uddannelsesniveau (figur 9). I Nordsjælland tager fædre med en lang videregående uddannelse over 50 dages barsel, hvor de i Vestjylland tager under 40 dage. Brancherne, og jobtyperne inden for disse, kan give en mulig forklaring, da vi må forvente, at der er vidt forskellige barselsvilkår.

Det er svært at konkludere på, om dette udgør hele forklaringen på de forskelle, vi ser, eller om der også er en kulturel forskel på landsdelene, som også har noget at sige, når det kommer til fædres barselstendenser.

Adgangen til barsel er udslagsgivende

Vores undersøgelse af data viser alt i alt, at der er mange nuancer og store forskelle indenfor fædrebarsel på tværs af uddannelse, brancher og landsdele. Ikke overraskende tegner der sig et billede af, at det er adgangen til barsel, som er udslagsgivende. Denne adgang er i høj grad bestemt af branche, social status og uddannelsesniveau, og den er ikke den samme, når vi sammenligner landsdelene i Danmark. Vi ser derfor et meget mere nuanceret billede af fædrebarsel end der præsenteres i medierne, når vi dykker ned i data og kigger på årsager og sammenhænge, og det er tydeligt, at alle fædre ikke kan skæres over én kam, når vi diskuterer barsel. I data viser det sig også, at antal barselsdage uden løn kun er ca. 2 uanset branche, mens det er antallet af dage med løn der varierer (figur 11). Dette understøtter blot hvad vi allerede har set om branchernes effekt samt at adgangen til barsel er det udslagsgivende.

Kilder
Danmarks Statistik:
BARSEL04
BARSEL11
LIGEAB4
HFUDD11

Om aftalen om
øremærket barsel:
kortlink.dk/2fyhr

Politisk aftale indgået:
kortlink.dk/2htfg

Barsel gennem tiden
i Danmark: kortlink.
dk/2htfk

Næsten hver anden
er imod 11 ugers øre-
mærket barsel til far:
Ritzau, 22/9, 2021.



● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● | ➔

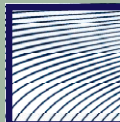
Dit online privatliv er beskyttet af kryptering. Fx når du er på nettet, taster passwords, bruger NemID eller betaler med mobil eller kort. Kryptering bygger på matematik og bliver hele tiden forbedret af matematikere, så du er sikret mod hacker-angreb og identitetstyveri.

Mød studerende på de naturvidenskabelige uddannelser. Få hjælp og vejledning til dit studievalg.

SCIENCE Communication

Uddannelser for
studerende med

FYSIK OG INGENIØR DRØMME



**MAKE IT
REAL**

To uddannelser, mange
muligheder.

På uddannelsen **FYSIK** er vi nysgerrig på livet, naturen og hvordan verden hænger sammen omkring os. Vi udforsker grundlaget for alt, vi ved - og det, vi ikke ved endnu.

Fra 2023 tilbyder vi også uddannelsen **FYSIK OG TEKNOLOGI**, hvor fysik kombineres med ingeniørdiscipliner. Her designer, fremstiller og karakteriserer vi materialer og komponenter - fx bæredygtige løsninger til industrien.

SE MERE PÅ:
[MP.AAU.DK/EDUCATION](https://mp.aau.dk/education)



AALBORG UNIVERSITET
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN



Undervisningsmaterialer

Du kan finde ekstramateriale på aktuelnaturvidenskab.dk, som er beregnet på undervisningen i gymnasieskolen.

Arbejdsark om cellens calciumkanaler

Arbejdsarket knytter an til artiklen *På opdagelse i cellens calciumkanaler* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 6 – 2021. Artiklen kommer ind på grundlæggende begreber som iongradient, ionpumpe, ionkanal og receptor. Arbejdsarket består af fire spørgsmål

Arbejdsark om narkolepsi

Arbejdsarket knytter an til artiklen *Narkolepsi – når søvnen bliver slået i stykker* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 2 – 2022. Arbejdsarket kommer ind på de grundlæggende fænomener relateret til søvnens faser og, hvad der går galt i hjernen ved sygdommen narkolepsi.

Arbejdsark om sære sanser

Arbejdsarket knytter an til artiklen *Sære sanser* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 4/2021. Heri berøres fundamentale begreber relateret til sanserne såsom sansecelle, nervefiber, membranpotentiale og transduktionsmekanisme.

Jorden som kæmpesnebold - albedo og strålingsbalance

Dette materiale indeholder en modulplan og undervisningsforslag til artiklen *Da Jorden var en kæmpesnebold* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 1/2000. Artiklen kan kobles på et forløb omkring vulkanisme (geologi, kontinentaldrift, periodisering) eller klimaforandringer (albedo, indstråling, kulstofkredsløb, tilbagekoblingsmekanismer, drivhusgasser/effekt). Den kan supplere eksperimentelt arbejde, men kan også adskilles i forskellige delelementer og bruges til enkeltmoduler på 1-2 timer. Artiklen er mest velegnet til Naturgeografi på B-niveau.

De nævnte undervisningsmaterialer er alle udarbejdet af projektgruppen på Viborg Katedralskole i forbindelse med projektet Brobygning på første række finansieret af Novo Nordisk Fonden. De knytter alle an til foredragsserien Offentlige foredrag i Naturvidenskab.

Quizzer

Der er en nye quiz om titan som katalysator.

ABONNEMENTS-SERVICE

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

Kontakt os på telefon:

3036 0662 / 8715 2094

E-mail: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

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

- Astrid C. Johansen, kommunikationskonsulent Roskilde Universitet
- Birgitte Lyhne Broksø, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- David André Højlund Graff, strategisk kommunikationsrådgiver, Aalborg Universitet
- Jane Thoning Callesen, communication manager, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Astrid C. Johansen, kommunikationskonsulent Roskilde Universitet
- Mikkel Linnemann Johansson, teamleder, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk 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

- Astrid C. Johansen, Roskilde Universitet
- Birgitte Svennevig, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Carsten Rabæk Kjaer, Aktuel Naturvidenskab
- David André Højlund Graff, Aalborg Universitet
- Jørgen Dahlgaard, Aktuel Naturvidenskab
- Michael Skov Jensen, Københavns Universitet
- Sune Holst, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet

Redaktionen:

Telefon: 3036 0660 (Carsten) / 3036 0662 (Jørgen)

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Postadresse:

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

Omlagsfoto:

Foto fra millionbyen Adana i Tyrkiet: Redningsmandskab og civile søger efter overlevende i ruinerne af en boligblok, som blev ødelagt i jordskælvet den 6. februar 2023. Foto: Shutterstock

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



Foto: Lars Svankjær

Når børn går til videnskab

Det var ikke just det typiske kemilokale, Julie, Jenny, Bjørn og Alba optrådte i den 13. december sidste år. Nej, det var i royale rammer i Christian IX's Palæ på Amalienborg, hvor de demonstrerede, hvordan man kan teste pH-værdien af forskellige hverdagsingredienser ved hjælp af en rødkålsindikator. Rødkål indeholder nemlig nogle farvestofmolekyler kaldet anthocyaniner, der skifter farve efter, hvor basisk eller surt, der er omkring dem. Ved at hælde et afkog af rødkål op i syv glas og opløse ting med forskellig pH-værdi (som kautisk soda, citron og afkalker) heri, kan man fremtrylle en serie kulørte glas, der repræsenterer pH-værdier fra stærkt basisk til stærkt surt. Firkløveret kunne vise publikum, at når man først har lavet en sådan kulørt indikator, kan man teste en ingrediens med ukendt pH-værdi – i deres forsøg var det æblejuice og soda – ved at opløse den i sit rødkålsafkog og sammenligne med farverne i de andre glas.

Demonstrationen forløb til stor tilfredshed og morskab for publikum, som blandt andet talte Dronning Margrethe. De fire juniorkemikere var alle tilknyttet Videnskabsklubben, hvor Julie og Jenny fra Sønderborg Statsskole er frivillige undervisere, mens Alba og Bjørn begge var "miniforskere" i Videnskabsklubben på kemiholdet på Vibenshus Gymnasium i efteråret 2022.

Når rødkålsforsøget blev demonstreret i så statelige rammer, skyldtes det den glædelige begivenhed, at Videnskabsklubben den dag fik overrakt Amalienborgprisen. Prisen uddeles af Dronning Margrethe og Prins Henriks Fond til en person eller organisation, der har ydet en "ekstraordinær videnskabelig eller kulturel indsats".

Videnskabsklubben blev stiftet i 2014 af forskerne Rikke Schmidt Kjærgaard og Petrine Wellendorph med det formål at give børn i 4.-6. klasse mulighed for at "gå til naturvidenskab" på en sjov og lærerig måde. Konceptet i Videnskabsklubben er, at større børn på frivillig basis coacher mindre børn og deler ud af deres begejstring for naturvidenskab. Klubben er siden den spæde start vokset, så den nu er etableret i 41 danske byer. I 2022 var tilbuddet tilgængeligt for 1.100 børn og unge, og i 2023 forventes tallet at vokse til lige godt 1.500. Faktisk er der i dag ekstremt stor efterspørgsel på Videnskabsklubbens forløb, som ofte bliver fyldt på rekordtid og har lange ventelister flere steder i landet. Det vil der heldigvis blive gjort noget ved, idet Videnskabsklubben kommer til at udvide deres tilbud de kommende år. Således har Novo Nordisk Fonden netop bevilget yderligere 30 millioner kroner til Videnskabsklubben over de næste fem år. Forhåbentlig vil vi derfor snart komme i en situation, hvor ethvert dansk barn med lyst til videnskab i fritiden vil kunne få sit ønske opfyldt! CRK