

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI  
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL  
*natur* VIDENSKAB

VULKANSK ASKE  
KAN BINDE ENORME  
MÆNGDER CO<sub>2</sub>

Universets sorte spejle

Jagten på et bevis på kvantetyngdekraft

Klitter på stribe

NR. 2 - 2024 MAJ 50 KR.

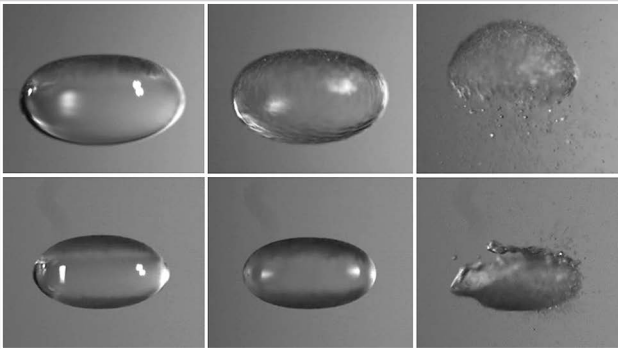


Foto: X. Ji et al./Droplet/CC-BY 4.0 DEED

## Holdbare bobler

Bobler spiller en vigtig rolle i mange industrielle processer, men bobler er ofte ustabile og kortlevede på grund af det tryk, som tyngdekraften udsætter den tynde film for. Billederne viser øverst en sæbeboble og nederst en vandboble, som det er lykkedes kinesiske forskere at holde svævende i henholdsvis 15 og 7 minutter ved at udsætte dem for ultralyd. Forskerne kunne vise, at lydølgerne skabte et tryk på både yder- og indersiden af boblernes film, som balancerede tyngdekraftens virkning og forlængede boblernes liv.

Kilde: Nature/DropLet: <https://doi.org/10.1002/dro2.119>

## Hæder til mikrobeforsker

Mads Albertsen fra Aalborg Universitet har for nylig modtaget Dronning Magrethe II's Videnskabspris for 2024. Han får prisen for sin forskning i mikroorganismer – og ikke mindst for under covid-19-epidemien at tage initiativ til at omlægge sit laboratorium til at sekventere SARS-CoV-2-genomer fra den intensive testning i Danmark ved at bruge metoder, som var udviklet i hans laboratorium. Prisen er på 100.000 kr. og uddeles af Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab.



Foto: Søren Kjeldgaard



## En havbund fyldt med plastik

Australske og canadiske forskere har forsøgt at estimere, hvor meget plastik – i form af større stykker som plastikposer, -kopper og net – der befinder sig på havbunden af verdenshavene. Og svaret er et sted mellem 3 og 11 millioner tons. Estimerne bygger på modeller, der er fordret med data indsamlet fra robotstyrede undervandsfartøjer og fra bundtrawl. Data fra undervandsfartøjer viser også, at cirka halvdelen af den samlede mængde plastik på havbunden befinder sig på dybder under 200 meter.

Kilde: Deep Sea Research Part I, Oceanographic Res. Papers/ 10.1016/j.dsr.2024.104266

## Quizzen

Hvad forstår man ved CO<sub>2</sub>-mineralisering?

1. At CO<sub>2</sub> skifter fase til fast form og danner CO<sub>2</sub>-krystaller
2. At CO<sub>2</sub> bliver kemisk bundet til mineraler i undergrunden
3. At CO<sub>2</sub> bliver opløst i vand, som det er tilfældet i dansk vand.

Læs svaret i artiklen på side 20 i dette nr.

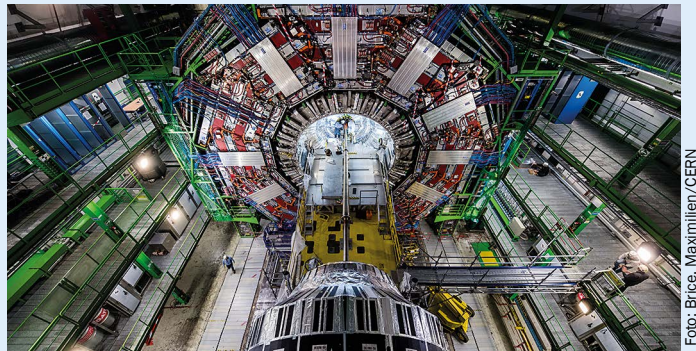


Foto: Brice, Maximilien/CERN

## Sjældent trekløver observeret

Forskere ved CMS-eksperimentet på CERN har for første gang set eksempler på den samtidige dannelse af tre kraftbærende elementarpartikler, nemlig en foton (lyspartikel) samt to såkaldte W-bosoner med modsat ladning, W<sup>+</sup> og W<sup>-</sup>. W-bosoner er 85 gange så tunge som protoner, og de er involveret i nogle af de mest almindelige typer radioaktivt henfald. Den samtidige dannelse af dette trekløver af elementarpartikler er en sjælden begivenhed, der kan opstå på flere forskellige måder ved sammenstød mellem to kvarker (protonens bestanddele). For at finde 250 eksempler på denne hændelse, måtte forskerne pløje sig gennem data om milliarder af kollisioner opnået i kæmpeacceleratoren Large Hadron Collider fra perioden 2016-2018. Resultaterne er endnu en bekræftelse af fysikkens teori for stoffets grundlæggende bestanddele, Standardmodellen.

Kilde: Nature/ Phys. Rev. Lett. 132, 121901 (2024).

## Der skal tre til en stime

Hvor mange fisk skal der til en stime? Tre, viser ny forskning af tyske og engelske fysikere. Forskerne udstyrede et akvarium med kameraer for at kortlægge det tredimensionelle bevægelsesmønster af zebrafisk i grupper på to, tre, fire og 40 individer. Ved hjælp af metoder fra statistisk fysik udledte de derefter den minimale gruppestørrelse, hvor det individuelle bevægelsesmønster forandrer sig og bliver til et koordineret gruppemønster. Forskerne fandt, at to fisk foretrak at svømme efter hinanden, men så snart der blev tre, begyndte de at svømme ved siden af hinanden, hvilket er karakteristisk for en stor stime fisk. Da forskerne markerede en undergruppe på tre fisk i en større gruppe fandt de, at de tre fisk bevægede sig på samme måde i den store stime, som de gjorde som en isoleret gruppe på tre. Det tyder på, at fisk i en stor stime først og fremmest interagerer med deres nærmeste naboer.



Foto: Oregon State Univ./ CC BY-SA 2.0 DEED

Kilde: PhysicsWorld/ Nature Comm. vol. 15, Art. No. 2591 (2024)

# indhold



## Universets sorte spejle

Tæt på randen af et sort hul er tyngdekraften så intens, at lys ikke bare afbøjes kraftigt, men kan rotere mange gange rundt om det sorte hul. Herved opstår en slags spejl, der viser et uendeligt antal billeder af Universet.

12



## Jagten på et bevis på kvantetyngdekraft

I et nyt studium har forskere kigget på flere end 300.000 målinger af neutrinoer fra eksperimentet IceCube i Antarktis for at nærme sig et svar på spørgsmålet, om der også findes tyngdekraft på kvanteniveau.

15



## Vulkansk aske kan binde enorme mængder CO<sub>2</sub>

En helt naturlig proces, hvor CO<sub>2</sub> bliver bundet i mineraler fra vulkansk aske, kan hjælpe os med at vinde klimakampen ved at fjerne CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. Danske forskere planlægger nu det første danske testanlæg.

20



## Klitter på stribe – oversete kulturspor i landskabet

Nogle af Danmarks største og smukkeste klitter har vist sig slet ikke at være naturlige. I virkeligheden er de skabt af en næsten glemt, men også fejlslagen, teknik til at tæmme den vilde natur.

26

## FORSKNING OG NYHEDER

- 4 KORT NYT
- 6 Forskning skal bane vejen for en halvering af pesticidforbruget
- 8 Fedtvæv: Et komplekst organ med mange funktioner
- 12 Universets Sorte Spejle
- 15 Jagten på et bevis på kvantetyngdekraft
- 18 Jagten på bakteriers resistensmekanismer
- 20 Vulkansk aske kan binde enorme mængder CO<sub>2</sub>
- 26 Klitter på stribe – oversete kulturspor i Danmarks landskab
- 32 Da Europa blev koloniseret
- 38 Service
- 40 BAGSIDEN:  
25 år med Aktuel Naturvidenskab

## 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, Syddansk Universitet
- Roskilde Universitet

### Ansvarshavende

Poul Nissen, prodekan, Faculty of Natural Sciences, Aarhus Universitet.

### Redaktion

Redaktører Carsten Rabæk Kjaer og Jørgen Dahlggaard  
Tlf.: 3036 0660 / 3036 0662 / 8715 2094  
E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk  
Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

## SPONSOR- ABONNENTER

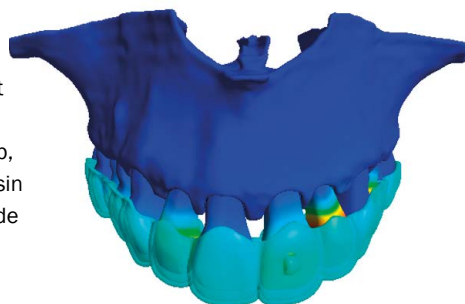


# AI skal hjælpe med at få bøjlens på tænderne

**M**ange af os kender følelsen af et sæt togskiner, der strammer på tænderne og løbende skal rettes til hos tandlægen. For hvert år får omkring 30 procent af danske børn op til 15-års alderen bøjl på for at rette de skæve tænder. Et indgreb, som den enkelte tandlæge udfører ud fra sin uddannelse og erfaring uden dog at have de samme muligheder, som en computer har for at forudsige det endelige resultat.

Men med et nyt værktøj udviklet i et samarbejde mellem Datalogisk Institut på Københavns Universitet og virksomheden 3Shape, kan man nu simulere, hvordan tandbøjlen skal sidde for at give det bedste resultat uden for mange unødvendige gener. Værktøjet er udviklet ved hjælp af skanningsbilleder af tænder og knoglestrukturer i menneskelige kæber, som en kunstig intelligens bruger til at forudsige, hvordan tandbøjlen skal designes for at rette tænderne op.

»Vores simulering kan fortælle tandlægen, hvor bøjlens skal trykke, og hvor den ikke skal, for at få lige tænder. Et indgreb, som i dag



Kilde: Datalogisk Institut, KU.

afgøres fuldstændig ud fra den enkelte tandlæges skøn, og som i høj grad handler om at prøve sig frem. Og det kan betyde mange løbende tilretninger og besøg hos tandlægen, som vores simulering på sigt kan hjælpe med at minimere,« siger professor Kenny Erleben, sektionsleder for forskningssektionen IMAGE (Image Analysis, Computational Modelling and Geometry) på Datalogisk Institut.

Og det er ikke mærkeligt, at det kan være svært at forudsige præcist, hvordan bøjlens vil flytte tænderne. For vores tandsæt flytter sig faktisk en lille smule hele livet



igennem. Bevægelser som er meget forskellige fra mund til mund.

»At tændernes bevægelser varierer fra en patient til en anden, gør det endnu mere udfordrende at forudsige tandbevægelser nøjagtigt for forskellige personer. Derfor har vi udviklet et nyt værktøj og et datasæt af forskellige modeller, der hjælper med at

overkomme disse udfordringer,« forklarer Torkan Gholamalazadeh fra 3Shape og ph.d. fra Datalogisk Institut.

Billedet viser en digital tvilling af en patients kæbe lavet ved hjælp af kunstig intelligens og computermodellering. Den digitale tvilling giver en præcis simulering af tændernes forventede bevægelser. Farvekortet visualiserer, hvor meget og i hvilken retning tænderne bevæger sig, hvor varmere farver indikerer større tandbevægelser.

Michael Skov Jensen, Københavns Universitet

## Sådan kan et musefoster få seks ben

**I**et nyt studium publiceret i tidsskriftet *Nature Communications* har udviklingsbiologen Moisés Mallo ved Gulbenkian Science Institute i Portugal og hans kolleger vist, hvordan ændringer i den tredimensionelle struktur af DNA kan påvirke fosterudviklingen hos mus, så fostrene får seks ben i stedet for fire.

Oprindeligt ønskede forskerne at studere proteinets Tgfb1's rolle i udviklingen af ryggraden i musefoster. Til formålet brugte de mus, der var blevet genetisk modificeret, så det var muligt at "slukke" for det gen, som koder for proteinet, cirka halvdels gennem fosterets udvikling.

Da forskerne gennemgik de fostre, der var kommet ud af det, viste et af dem sig at have



Foto: Anastasiia Lozovska et al/Nat. Comms

et ekstra sæt bagben, hvor de ydre kønsdele egentlig burde være. Det fik forskerne til at skifte fokus og undersøge dette fænomen nærmere.

Forskere har længe vidst, at i de fleste firbenede dyr, udvikles både bagben og ydre

kønsdele fra de samme grundlæggende strukturer. Da forskerne kiggede nærmere på det seksbenede fænomen i mus, fandt de, at proteinet Tgfb1 får disse grundstrukturer til at blive enten ben eller kønsdele ved at ændre den måde, som DNA bliver foldet i disse strukturers celler. Deaktivering af proteinet ændrer aktiviteten af andre gener, som medfører, at der udvikles et ekstra sæt ben og ingen egentlige ydre kønsdele.

Forskerne vil nu undersøge, om Tgfb1 og beslægtede proteiner påvirker strukturer i andre systemer, som har betydning for udviklingen af kræft og for immunsystemets funktion.

CRK, Kilde: *Science / Nature Communications*. doi.org/10.1038/s41467-024-46870-z (2024).

# Ny indsigt i kræftcellers vækst og spredning

**K**ræftceller er kendetegnet ved deres aggressivitet: De vokser hurtigt, og de spredt sig til andre dele af kroppen. For at det kan ske, er en lang række mekanismer på spil. En af disse er, at et protein, kaldet MYC, tænder for nogle gener på kræftcellens DNA-streng, der får kræftcellen til at vokse og dele sig. MYC-proteinet findes også i normale celler, hvor det spiller en vigtig rolle for at regulere mange funktioner i cellen.

»Når man får kræft, skyldes det en ophobning af mutationer i vores DNA, og dette medfører ofte en overaktivering af MYC-proteinet. Dette protein spiller derfor en vigtig rolle i langt de fleste kræftformer,« siger forskningsleder på Institut for Biokemi og Molekylær Biologi, Rasmus Siersbæk. Nu rapporterer han og kolleger i det videnskabelige tidsskrift *Nature Genetics*, at de har opdaget endnu en funktion af MYC-proteinet, som har betydning for kræftcellens evne til at vokse og dele sig. Man har i lang tid vidst, at MYC-proteinet er en såkaldt transkriptionsfaktor, der er med til at styre, om der skal slukkes eller tændes for et givet gen. Det foregår ved, at MYC binder til regulatoriske regioner i DNA'et kaldet promotere, som ligger lige ved siden af generne.

På disse promotere hjælper transkriptionsfaktorer og andre proteiner enzymet RNA polymerase II til at binde, og det er afgørende for, at der kan laves en RNA-kopi af genet, der efterfølgende oversættes til protein i cellen. Groft sagt er MYC's rolle i kræft altså, at det kan hjælpe med at aktivere en række gener, der booster kræftcellens evne til at vokse og dele sig.

»Man har derudover for nyligt fundet ud af, at MYC-proteinet også binder til andre regulatoriske regioner af DNA-strengen, nemlig til såkaldte enhancere,« siger studiets første forfatter, postdoc Simon Tofttholm Jakobsen fra Siersbæks forskergruppe. Til forskel fra promoterne, ligger enhancerne typisk langt væk fra generne, men de har også en vigtig rolle i forhold til at regulere aktiviteten af generne. Promotere alene giver typisk kun et basalt lavt udtryk af et gen, og de byder ikke på mange muligheder for at genet kan blive udtrykt i forskellig grad i forskellige typer af celler. Enhancere hjælper derimod med at øge udtrykket af genet på en meget celle-type-specifik måde.

»Hidtil har man ment, at MYC-proteinets vigtigste funktion var på promoterne, men nu viser det sig altså, at MYC-proteinet også har

en vigtig funktion på disse enhancere, hvorfra det kan tænde for nogle andre gener, der også er vigtige for, at kræftcellerne kan dele sig og spredes i kroppen,« forklarer Simon Tofttholm Jakobsen.

»Der findes altså overordnet to forskellige funktioner af MYC, der virker på forskellige dele af vores DNA, og de er begge vigtige for, at MYC-proteinet kan booste en kræftcelles vækst og deling. Og dermed er der også to funktioner af MYC, som man kan forsøge at ramme terapeutisk,« siger Rasmus Siersbæk. Ifølge Rasmus Siersbæk er det dog en udfordring at ramme selve MYC-proteinet med medicin. »MYC-proteinet er meget uorganiseret, og det har vist sig meget svært at ramme med medicin. Så vi har kigget på de proteiner, der hjælper MYC med at aktivere gener. Disse hjælper-proteiner er lettere at ramme. Vi har identificeret nogle hjælpe-proteiner, som er vigtige for denne nye funktion af MYC på enhancere og som potentielt kan være mål for fremtidig behandling, der kan hæmme kræftcellernes evne til at vokse og sprede sig,« forklarer han.

Birgitte Svennevig, SDU. Kilde: Jakobsen, S.T., Jensen, R.A.M., Madsen, M.S. et al. (2024). *Nature Genetics*.

## Ny bachelor på SDU

### Kunstig intelligens

#### Er du nysgerrig på optimering, logik, maskinlæring, programmering, etik, algoritmer og matematik?

Med en bachelor i Kunstig intelligens fra Syddansk Universitet får du kompetencer, som allerede nu er efterspurgt i virksomheder og organisationer i Danmark og udlandet.

Du behøver ikke at kunne programmere, når du starter på uddannelsen. Du skal bare have interesse i at lære det, ligesom du skal have flair for at tænke logisk og matematisk.

Læs mere om uddannelsen på [sdu.dk/kunstig-intelligens](https://sdu.dk/kunstig-intelligens)



## Forskning skal bane vejen for en halvering af pesticidforbruget

Med One Crop Health er målet en helhedsorienteret tilgang til planteavl. Illustration: Shutterstock

I tråd med det velkendte ordsprog, at “det er bedre at forebygge end at helbrede,” har fremtidens planteavlere udsigt til mere bæredygtige metoder, uden at det vil gå ud over deres produktivitet. I hvert fald hvis det står til forskerne bag det nye forskningsprojekt *One Crop Health*, som nu er gået i luften.

Med 60 millioner kroner fra Novo Nordisk Fonden i ryggen skal forskerne fra Københavns Universitet i et samarbejde med kollegaer fra Aarhus Universitet og Rothamsted Research i England de næste seks år samle viden til at udvikle et klogere landbrug, som kan være bæredygtigt og samtidigt producere mad nok til verdens voksende befolkning.

Planteavlere har i mange år sat deres lid til sprøjtemidler i et forsøg på at begrænse tab til sygdomme, skadedyr og ukrudt, der i dag ødelægger cirka en tredjedel af markernes afgrøder verden over. Samtidig viser estimater, at vi i år 2050 får brug for 60 % mere mad end i dag. Men pesticiderne truer også sundhed, natur og biodiversitet, og der er et stigende pres fra samfundet og politikere for at begrænse brugen af sprøjtemidler.

Senest har ønsket om sundere og mere bæredygtige afgrøder konkret udmøntet sig

i planer om et EU-krav om 50 % reduktion af sprøjtemidler inden 2030. De planer er nu blevet sat på pause, efter de blev udfordret af landmænd, som er bekymrede for, at kravet kan skade produktiviteten så meget, at erhvervet bliver urentabelt.

Så kan planteavlere halvere deres brug af pesticider, uden at gøre landbruget uproduktivt og uden verden kommer til at mangle mad? Det er det centrale spørgsmål, som One Crop Health vil forsøge at besvare.

Ifølge professor Paul Neve fra Institut for Plante- og Miljøvidenskab viser de politiske uenigheder, bekymringerne fra landmænd og industri samt usikkerheden omkring reguleringen tydeligt, at der er behov for mere forskning for at muliggøre overgangen.

»De fleste landmænd ønsker faktisk at bruge færre pesticider, men der er brug for forskning, der viser, hvordan det er muligt, mens man samtidigt har sunde afgrøder med et højt udbytte, og som giver økonomisk overskud. One Crop Health-projektet sigter efter at udfylde det hul gennem forskning, så ønsket om at reducere pesticidbrug bliver placeret på et videnskabeligt grundlag, der i sidste ende vil hjælpe landmændene med at træffe den rationelle beslutning, at reducere pesticidforbruget,« siger professor Paul Neve.

Han mener, at en økonomisk bæredygtig overgang er mulig med en helhedsorienteret tilgang til planteavl.

»Generelt skal fokus flyttes fra at løse enkeltstående problemer med få hårdhændede redskaber, som pesticider. Ofte skaber den tilgang nye problemer andre steder, som også skal løses. Når marker beplantes tæt for at undgå at give plads og lys til ukrudt, men det i stedet skaber de optimale betingelser for svampe og sygdomme, viser det, hvordan en manglende helhedsforståelse kan føre til misforståede løsninger. Vi skal i stedet blive bedre til forstå hele økosystemet og så gøre brug af alle de moderne redskaber, der er til rådighed i dag,« siger Paul Neve og fortsætter:

»Kan vi skabe sunde økosystemer, der reducerer mængden af ukrudt, skadedyr og sygdomme, vil det helt enkelt reducere behovet for at sprøjte. Det behov, som står tilbage, kan vi i vid udstrækning erstatte med andre redskaber. For eksempel kan AI-overvågning og modeller hjælpe med at informere om, hvor og hvornår skadedyr må kontrolleres. Og nye løsninger som biopesticider kan så bruges til at gøre det,« siger han.

Kristian Bjørn-Hansen, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, KU

# Renere luft giver mere opvarmning

**F**orskellen på den energi, Jorden modtager fra Solen, og den energi, der forlader planeten igen kaldes for Jordens energiubalance.

Når energiubalancen er positiv, medfører det opvarmning af oceaner, kontinenter og atmosfære, altså præcis hvad vi oplever nu. Menneskets bidrag til denne ubalance er som bekendt primært afbrænding af fossile brændsler, som øger indholdet af drivhusgassen CO<sub>2</sub> i atmosfæren. Men NASA's satellitmålinger af strålingsbalancen siden 2001 har vist, at energiubalancen – og dermed den potentielle opvarmning af Jorden – er øget mere end den menneskelige udledning af drivhusgasser alene kan forklare.

Det viser sig nu, at en god sjet – op til 40% – af denne ubalance i perioden 2001-2019 kan forklares ved, at luften simpelthen er blevet renere. Det fremgår af et nyt studium fra det norske klimaagentur Cicero, der for nylig er publiceret i tidsskriftet *Nature Communications Earth & Environment*. Med andre ord har luftforurening, som jo er en sideeffekt



Mindre luftforurening kan paradoksalt nok føre til øget global opvarmning. Foto: Shutterstock.

ved afbrændingen af fossile brændsler, lagt en dæmper på den klimaeffekt, som afbrændingen ellers kunne have haft. Da udledningen af aerosoler formentlig vil falde yderligere i fremtiden på grund af strengere miljøkrav, vil vi således som en konsekvens

også kunne forvente en øget energiubalance og deraf følgende opvarmning ved Jordens overflade.

CRK, Kilde: *Communications Earth & Environment* vol. 5, Article no. 166 (2024)

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



# FEDTVÆV: ET KOMPLEKST ORGAN MED MANGE FUNKTIONER

Fedt er ikke bare fedt. I kroppen findes der således to slags fedtvæv, hvidt og brunt, som ikke har den samme funktion. Forskning i fedtvæv hjælper os med at forstå, hvordan kroppen fungerer, og hvad der sker, når vi bliver syge.

## Om forfatteren



Rikke Kruse Sørensen har en ph.d.-grad i molekylærbiologi fra Syddansk Universitet. Hun er nu postdoc ved Steno Diabetes Center Odense, hvor hun forsker i, hvordan især muskler og fedtvæv påvirkes ved blandt andet træning, overvægt og type 2 diabetes.  
rkruse@health.sdu.dk

**K**roppens fedtdepoter er til stadighed en omdiskuteret størrelse. Ifølge tal fra 2021 er 53% af de voksne danskere overvægtige, defineret som en BMI (Body Mass Index) over 25, og tallet er stigende. For de flestes vedkommende skyldes overvægten en forøget fedtmasse (altså antal kilo fedt, vi bærer rundt på). Men hvad er så konsekvensen af det – har det en betydning at gå rundt med ekstra fedt på kroppen?

Det korte svar er ja. Helt overordnet er der en række sundhedsmæssige risici forbundet med overvægt. Men

samtidig er det et spørgsmål, som ikke kan eller bør besvares så enkelt. Fedt er nemlig ikke bare fedt, og hvordan det påvirker vores sundhedstilstand, afhænger i høj grad af typen af fedt, fedtvævetts placering, vores genetiske baggrund og vores livsstil generelt.

De seneste årtier har forskningen øget vores viden om kroppens fedtdepoter. I lang tid har fedtvævet været opfattet som opbevaringsdepot af overskydende energi, men vi ved nu, at det ikke er hele historien.

Helt overordnet kan vores fedtdepoter inddeles i to kategorier, nemlig

hvidt og brunt fedtvæv. For at øge forvirringen findes der også såkaldt beige fedtceller, som er hvide fedtceller, der har tilegnet sig egenskaber som vi normalt kun finder hos brune fedtceller, men som findes spredt i typiske hvide fedtdepoter. De beige fedtceller vil jeg dog ikke komme nærmere ind på i denne artikel.

Det hvide fedtvæv er det, vi forbinder med fedt på kroppen, og det er specialiseret i at ophobe energi (på den form som kaldes triglycerider). Brunt fedtvævs primære funktion er derimod at frigøre energi, og det brune fedtvæv spiller en særlig rolle



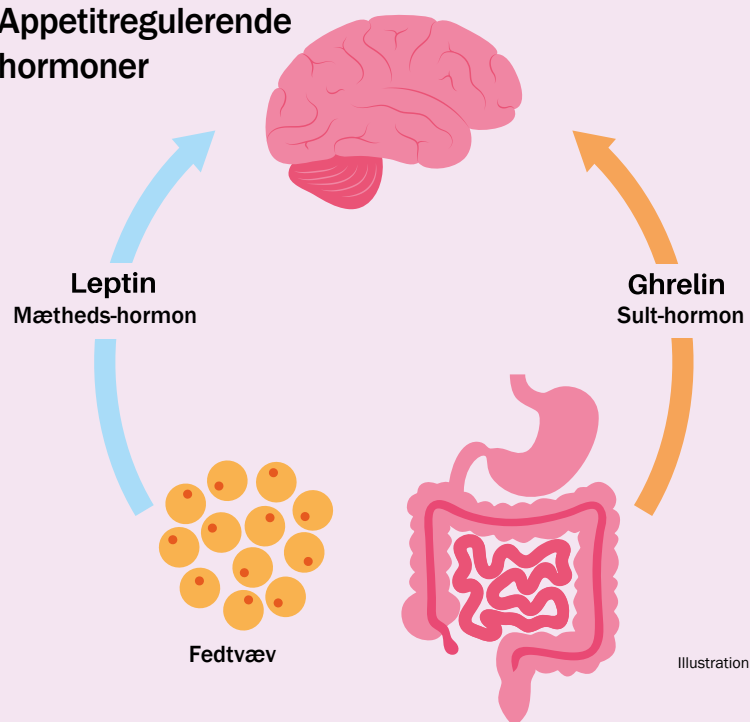
i en proces, hvor energien i den oplagrede fedt, frigives som varme.

### Hvidt fedtvæv: Kroppens energidepot

Det hvide fedtvæv består overvejende af fedtceller, adipocytter, men også andre celletyper såsom immunceller (makrofager) findes i fedtvævet. Hvide fedtceller er runde, og op til 90 % af deres volumen udgøres af en stor fedtdråbe, som består af triglycerider (tre fedtsyrer bundet til glycerol). Det hvide fedtvævs vigtigste funktion er at oplagre overskydende energi, hvilket gør det muligt for kroppen at overleve i perioder med begrænset adgang til mad. Set i et evolutionært perspektiv er dette en essentiel egenskab for alle større dyrs overlevelse. Men i en verden med nem adgang til en overflod af fødekalorier, og hvor de fysiske udfoldelser i hverdagen i mange tilfælde er begrænset, bidrager fedtvævet evne til at lagre overskydende energi, til den stigende grad af overvægt, som forekommer i dag.

Vi ved nu, at hvidt fedtvæv ikke alene opbevarer overskydende fedt til senere brug. Det er også centralt for kommunikation mellem kroppens væv og celler via udskillelse af hormoner kaldet adipokiner (på græsk betyder *adipo* fedt og *kinos* bevægelse). Det er altså stoffer, som udskilles fra fedtvævet og transporteres rundt med blodet i kroppen. Med adipokinerne signalerer fedtvævet til celler andre steder i kroppen og formidler en slags status på fedtvævet tilstand. Eksempelvis udskiller hvide fedtceller et adipokin kaldet leptin. Jo mere fedt, der er ophobet i fedtvævet, desto mere leptin frigives der til blodbanen. Leptin transporteres herefter med blodet og binder blandt andet til receptorer i den del af hjernen, som kaldes hypothalamus. Hypothalamus registrerer og regulerer vores sult- og mæthedfølelse, og leptin signalerer, at kroppen er i energioverskud og får hypothalamus til at videresende et nervesignal til et andet center i hjernen, som signalerer mæthed og sænker vores

## Appetitregulerende hormoner



Leptin fra fedtvævet påvirker et område i hjernen kaldet hypothalamus, som registrerer og regulerer vores sult- og mæthedfølelse. Leptin signalerer, at kroppen er i energioverskud og igangsætter et signal, som sænker vores appetit. Modsat vil hormonet ghrelin, som udskilles fra mavesækken, når denne er tom, udløse en sultfølelse.

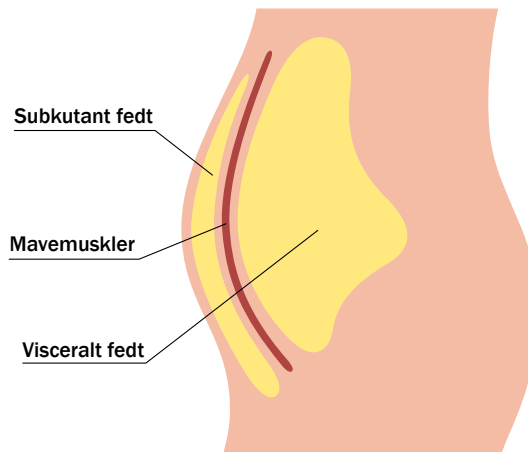


Illustration: Shutterstock.

Når vi taler om hvidt fedtvæv så skelner vi mellem subkutant fedt, som ophobes lige under huden og visceralt fedt, som er det indre fedt, som findes omkring organerne i bughulen. Ophobning af visceralt fedt er i højere grad en subkutant fedt forbundet med en øget risiko for hjertekarsygdomme.

appetit. Hvis leptinsignalet ikke videriges korrekt, for eksempel hvis receptorerne i hypothalamus ikke virker, vil kroppen reagere med en konstant sultfølelse.

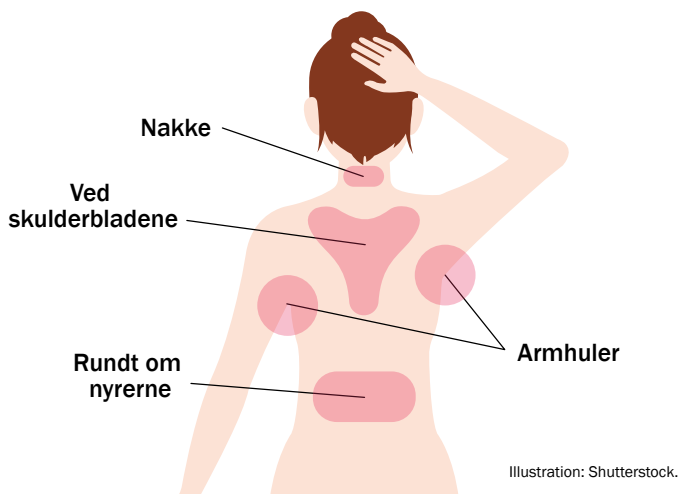
Samtidig ved vi, at øget fedtakkumulering i det hvide fedtvæv udløser en betændelsestilstand, hvor immunceller begynder at udskille cytokiner (immuncellernes signalstoffer). Disse stoffer påvirker resten af kroppen, bl.a. vores muskelceller, og menes at bidrage til

forhøjet blodglucose og udviklingen af type 2 diabetes ved at nedsætte muskelcellernes optagelse af glucose efter et måltid.

### Æble- eller pæreformet

Fedt kan generelt deponeres mange steder i vores krop, men vi skelner især mellem fedt, som ophobes lige under huden, det subkutane fedt (sub = under, kutan = hud) og det "indre" fedt (på fagsprog visceralt fedt), som især findes i bughulen omkring vores indre

## Områder med brunt fedt



Brunt fedtvæv findes hos mennesker kun i små mængde i afgrænsede områder ved især kravebenene, nakken og nyrerne.

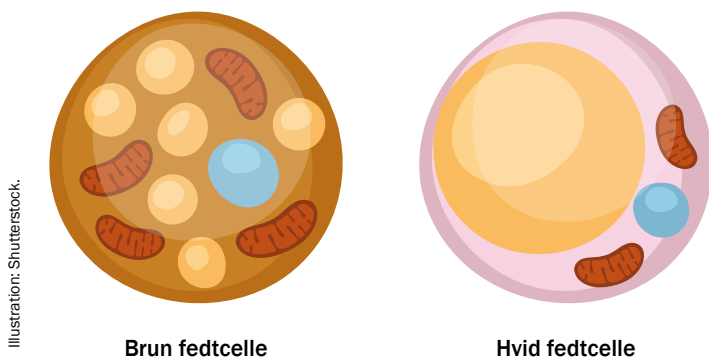


Illustration af forskellen på hvide og brune fedtceller. Begge typer ophober fedt i form af triglycerider, men mens den hvide fedtcelle ophober fedtet i en "samlet" pakke, er det i en brun fedtcelle fordelt rundt om i cellen. Det medfører strukturelle forskelle på de to typer celler i forhold til placering af cellekerne og organeller. Derudover er der mange flere mitokondrier i brune fedtceller, hvilket er det, der giver den brune farve.

organer. Endelig kan overskydende fedt ophobes omkring og i kroppens øvrige organer og væv. Det sidste kaldes ektopisk fedtophobning, og dette sker typisk først, hvis mængden af fedt i de almindelige fedtdepoter bliver for stor.

Fordelingen af kroppens fedtdepoter er individuel, men vi ved i dag, at fedtdepoterne har forskellige egenskaber og kan betragtes som "gode" eller "mindre gode". Eksempelvis er et større taljemål på grund af fedtfløjringer omkring maven i højere grad forbundet med øget risiko for at udvikle hjerte-kar-sygdomme, mens fedtfløjringer i hofteregionen ikke er forbundet med den samme

risiko. Fedtfordelingen er delvist genetisk bestemt, men også hormoner og især kønshormoner, spiller en rolle. Derfor ses ofte forskelle i fedtfordelingen hos mænd og kvinder, en forskel som reguleres af østrogen for kvinder og testosteron for mænd. Efter puberteten ophober kvinder især fedt i de subkutane depoter, altså de overfladiske fedtdepoter, på lår og baller, mens mænd ofte ophober overskydende energi i bughulens fedtdepoter. Derfor er risikoen for at udvikle hjerte-kar-sygdomme, forhøjet blodtryk og type 2-diabetes også lavere hos yngre kvinder end hos jævnaldrende mænd. I forbindelse med overgangsalderen ændres kvinders hormonprofil, da

østrogenproduktionen falder. Det medfører ofte ændringer i fedtfordelingen, så den i højere grad minder om en mandlig fedtfordeling, hvor fedtdepoterne primært er på maven. Resultatet er en stigning i risikoen for hjerte-kar-sygdomme hos kvinder, efter at de er kommet i overgangsalderen.

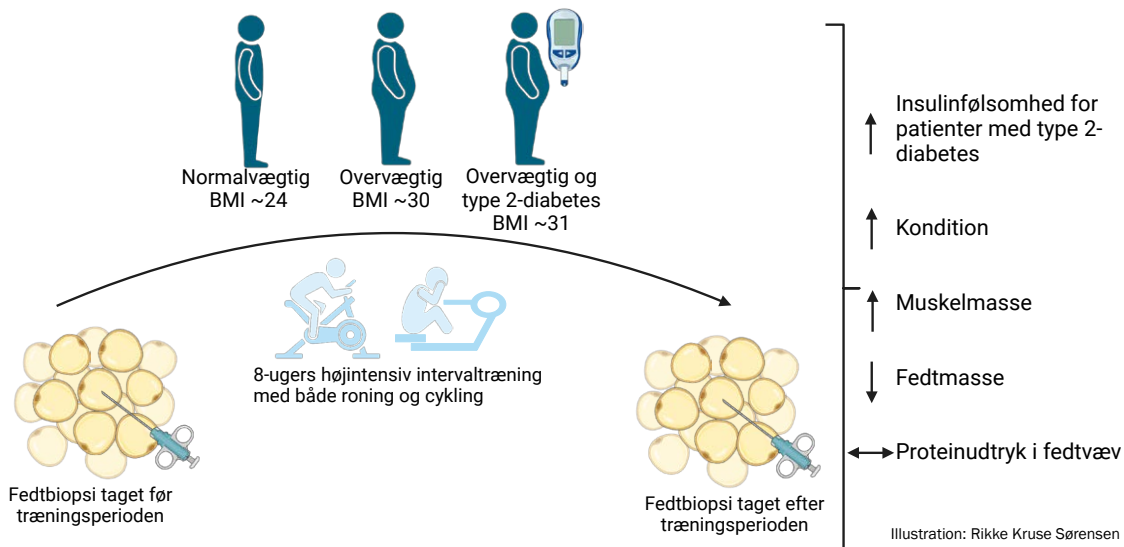
## Det brune fedtvæv

Som nævnt tidligere har det brune fedtvæv en anden funktion, idet det nedbryder fedt og omsætter fedtets energiindhold til varme. De brune fedtcellers evne til at omsætte energi skyldes et protein kaldet UCP1, som findes i mitokondrierne, der populært sagt er cellernes kraftværker. De brune fedtceller indeholder da også langt flere mitokondrier end hvide fedtceller. Det brune fedtvæv har tilpasset sig dets funktion. Faktisk er det de mange mitokondrier, som giver det brune fedtvæv dets brunlige farve, fordi mitokondrier indeholder jern.

Den fysiologiske betydning af det brune fedtvæv er beskrevet hos dyr, som går i vinterhi. Her sikrer det brune fedtvæv varmeproduktionen, så dyret herved kan opretholde en tilstrækkelig kropstemperatur og overleve en lang vinterperiode.

Hos mennesker har vi i lang tid antaget, at det brune fedtvæv primært fandtes hos spædbørn. Små børn har en større overflade i forhold til deres volumen sammenlignet med voksne, og da vi taber varme over huden, har varmeproduktion i det brune fedtvæv bidraget til at opretholde kropstemperaturen hos helt små børn. I mange år har det været den gængse opfattelse, at det brune fedtvæv hos mennesker forsvandt i løbet af barndommen, men nu har adskillige forskningsstudier vist, at det også er til stede hos voksne, omend i et begrænset omfang.

Tilsyneladende falder mængden og aktiviteten af det brune fedtvæv med alderen, og derudover reduceres aktiviteten af det brune fedtvæv, jo højere ens BMI er.



Mens otte ugers intervaltræning hos patienter med type 2-diabetes udmønter sig i øget insulinfølsomhed og generelt som øget kondition og muskelmasse og mindre fedtmasse, ses der umiddelbart ingen forskel på, hvilke proteiner der udtrykkes i fedtvævet før og efter træningsforløbet. Det tyder på, at der ikke sker ændringer i de kemiske processer i fedtcellerne som respons på træning. Men om det også gør sig gældende ved længere tids træning er endnu uvist.

Yderligere ved vi, at brunt fedtvæv findes i større mængder hos mennesker, som arbejder udendørs i de arktiske egne, for eksempel hos rensdyrhyrder, hvilket tyder på, at når man regelmæssigt udsættes for kulde, opretholder det brune fedtvæv sin aktivitet.

Et mindre dansk studie har fundet, at det brune fedtvæv er mere aktivt hos personer som vinterbader sammenlignet med personer, som ikke vinterbader. Vi ved dog endnu ikke, om vinterbadning faktisk er årsagen til, at det brune fedtvæv opretholder sin aktivitet. Forklaringen kunne også være, at voksne med en større mængde bibeholdt brunt fedtvæv er mere tilbøjelige til at vinterbade, fordi de ikke fryser i samme grad som personer med mindre varmeproduktion fra brunt fedtvæv.

### Aktivt brunt fedtvæv som kilde til vægttab

Da de første studier begyndte at identificere brunt fedtvæv hos voksne for omkring 20 år siden, opstod der hurtigt en ide om, at denne viden kunne udnyttes til at udvikle en metode til vægttab. Strategien var simpel: Hvis det var muligt at aktivere det brune fedtvæv, ville man kunne forbrænde fedt og svede sig ned i vægt, helt uden at træne.

Desværre har forskningen siden vist, at det ikke er så simpelt. Vores brune fedtdepoter er små og findes spredt ved blandt andet skulderblade, nyrerne og langs rygsøjlen, og det er derfor svært at bestemme, hvor store mængder vi har. Et forsigtigt skøn er, at vores brune fedtvæv kan forbrænde mellem 105 og 883 kJ (altså maksimalt 2/3 af en lakridspibe) på en dag. Så selv om opdagelsen af brunt fedtvæv hos voksne mennesker og aktiveringen af dette, i hvert fald i teorien, kan bruges til at stimulere et energiforbrug, så kræver det altså fuld aktivering, og det er indtil videre stadig usikkert, hvor meget (eller hvor lidt) det egentlig vil betyde.

På nuværende tidspunkt findes der ikke lægemidler, som direkte udnytter det brune fedtvævs egenskaber til vægttab. Og spørgsmålet er, om det nogensinde bliver aktuelt, efter de nyeste medicinske behandlinger mod overvægt, som er kommet på markedet de seneste år, har hævet barren for, hvad der er muligt med medicinsk slankebehandling.

### Meget at lære om fedtvæv

At der næppe er udsigt til en mirakelkur mod fedme baseret på det brune fedtvævs egenskaber, gør dog ikke forskning i fedtets egen-

skaber mindre relevant. For vi har stadig meget at lære om fedtvævet funktion. For eksempel om, hvordan fedtvævet adipokiner påvirker kroppens øvrige celler, og om, hvad der afgør, hvorvidt vi ophober fedt på maven eller lårene.

Vi ved heller ikke meget om, hvorvidt fedtvævet påvirkes af træning. I et nyere forskningsprojekt fandt vi, at otte ugers træning reducerede mængden af fedt, men samtidig skete der kun ganske få ændringer i, hvilke proteiner vi fandt i det hvide fedtvæv før og efter træning. Undersøgelse af proteiner giver et indblik i, hvilke specifikke kemiske processer som finder sted i en celle, da det er proteiner, der får de kemiske processer i cellerne til at ske. Vores studie viser altså, at 8 ugers træning ikke umiddelbart påvirker de funktioner, fedtcellerne udfører, og vi skal nu undersøge, om et længere træningsforløb påvirker fedtets funktion.

Mere generelt bidrager forskning i fedtvævet funktion til at øge vores indsigt i kroppens funktion. Det kan hjælpe os med at forstå, hvad der sker, når vi bliver syge og dermed bidrage til udvikling af nye behandlinger af sygdomme, hvor processer i fedtvævet spiller en rolle. ■

### Videre læsning:

Denne artikel er en opdatering af en artikel publiceret i *Aktuel Naturvidenskab* nr. 2-2012: Henriksen, RK (2012): Hvidt og brunt er ikke ét fedt.

Chair A & den Hartigh LJ (2020) Adipose tissue distribution, inflammation and its metabolic consequences, including diabetes and cardiovascular disease. *Front. Cardiovasc. Med.* 7:22.

Larsen JK et al., (2023) High-throughput proteomics uncovers exercise training and type 2 diabetes-induced changes in human white adipose tissue. *Sci. Adv.* 9(48): eadi7548

Kunstnerisk gengivelse af sort hul. Et sort hul er på én gang både en definition af mørket selv og et spejl, hvor alt lys fra Universet kan spejle sig. Illustration: Shutterstock.



# UNIVERSETS SORTE SPEJLE

Tæt på randen af et sort hul er tyngdekraften så intens, at lys ikke bare afbøjes kraftigt, men kan rotere mange gange rundt om det sorte hul. Herved opstår en slags spejl, der viser et uendeligt antal billeder af Universet. Hvis dette fænomen i fremtiden kan observeres med teleskoper, vil det være en ny mulighed for at teste vores forståelse af tyngdekraft.



## Om forfatteren:

Albert Bjerregaard Sneppen er ph.d.-studerende på The Cosmic DAWN Center og Niels Bohr Institutet, hvor han forsker i kosmologi, galaksers udvikling, sorte huller og neutron-stjerne kollisioner.

Hans forskning har ført til flere banebrydende resultater, hvilket inkluderer en ny måling af universets ekspansions-hastighed, opdagelsen af formen på en kosmisk eksplosion og en matematisk formel for lysets underlige baner nær sorte huller.

albert.sneppen@nbi.ku.dk

**A**f alle Universets fascinerende fænomener og matematiske skønheder er det sorte hul nok stadig det, der bryder mest med den menneskelige intuition. Det sorte hul standser tiden selv og fanger alt i sit indre – selv lys kan ikke undslippe. Og dog spejler det sorte hul Universets lys på dets kant. Det er en matematisk kendsgerning, jeg har fundet frem til ved at omskrive Einsteins love for tyngdekraft til at skabe et nyt matematisk udtryk for lysets baner omkring et sort hul.

Selvom det umiddelbart lyder paradoksalt, at sorte huller skulle

reflektere lys, så er fysikkens love heldigvis eksplicitte nok. Så lad os indstille vores teleskop og sammen gå på opdagelse i, hvordan sorte huller reflekterer universets lys.

## Et spejlbillede af universet

Forestil dig, at du står foran en perfekt rund kugle af sortthed i skærende kontrast til et omkringliggende hav af stjerner, galakser og kosmisk lys. Den perfekte runde kugle er defineret af en begivenhedshorisont – den radius fra det sorte huls midte, hvor intet, hverken hele stjerner eller bittesmå partikler af lys, kan slippe væk.

Vi vender i første omgang nu blikket mod de stjerner, som ligger langt fra den sorte kugles omrids. Det ligner vores vante nattehimmel. Her er lyset for langt væk til, at det vil blive tiltrukket af det sorte hul, og lyset vil derfor bevæge sig i lige linjer. Nu flytter vi dernæst blikket langsomt mod det sorte hul, og på et tidspunkt begynder lyset fra de stjerner, vi ser, at blive forvrænget, da tyngdekraften buer lysets baner. Først kun nogle få grader med den konsekvens, at stjernerne ikke længere ses der, hvor de burde være på nattehimmelen. Endnu tættere på randen af det sorte hul afbøjes lyset 10-20 grader. Det betyder, at man

kan se stjerner, der ligger bag det sorte hul, da deres lys afbøjes rundt om hullet. Når vi kommer endnu tættere på randen af det sorte hul, afbøjes lyset hundredvis af grader – så meget, at lyset faktisk roterer om det sorte hul.

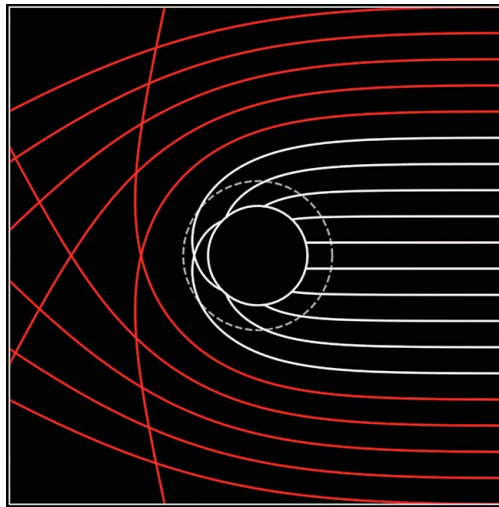
De stjerner, som vi så langt fra det sorte huls omrids, skinner ikke kun mod os, men også i retning af den sorte kugle. Nogle af deres lysstråler snitter hullets rand, bøjer dramatisk og kastes ud i vores retning. Set fra vores position kommer dette lys nu fra kanten af det sorte hul. Det vil altså sige, at du både ser disse stjerner på din vante nattehimmel, men også i en slags spejl nær det sorte huls kant. På den måde bliver lyset fra alle egne af universet reflekteret tæt på randen. Ja, selv lyset fra vores planet kan i teorien ses efter at have roteret en fuld omgang i det sorte huls racerspor. Det er ikke et tydeligt billede af Jorden, vi kan få på den måde, for lysstrålerne er få og forvrænget af deres rejse. Men det er stadig vores omrids.

### Uendelige kopier af universet

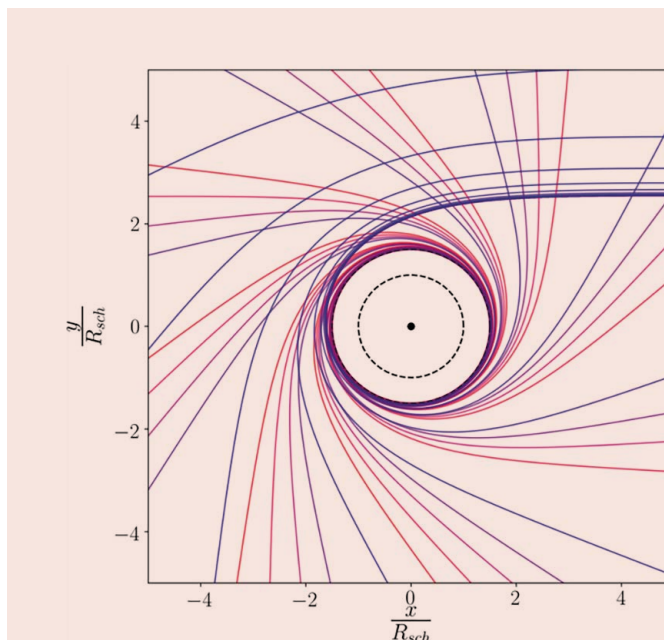
For at forstå det næste, vores øjne vil se, når vores blik nærmer sig det sorte huls kant, har jeg med udgangspunkt i Einsteins love skabt et nyt matematisk udtryk for lysets baner. Dette nye matematiske perspektiv forklarer, at det lys, som når meget tæt på det sorte hul (men lige akkurat ikke falder ned i det), kan rotere mange gange om hullet, ligesom Jorden roterer om Solen, elektroner om atomkerner eller enhver god partner i folkedans. Derfor er der stråler af lys, som roterer 2 runder, andre 3 runder, og endnu andre som måske endda når 42 runder, før det kastes ud til os. Hver runde slipper noget af lyset ud og giver os et endnu et billede af stjernerne. Hvert af disse billeder vil ses stadig tættere på den sorte kugles kant, for desto tættere lyset kommer – desto mere afbøjes det – og desto flere gange kan det rotere. Min forskning viser desuden, at hvert af spejlbillederne af universet bliver klemt i en smallere stribe

## Sorte huller

Et sort hul er et område i rummet, hvor tyngdekraften er så intens, at intet, ikke engang lys, kan undslippe dets greb. Et sort hul opstår, når en tung stjerne "dør" og falder sammen til et ekstremt kompakt objekt under dets egen tyngdekraft. I kernen af et sort hul findes en såkaldt singularitet, som er et punkt med uendelig tæthed, hvor de kendte fysiklove bryder sammen. Omkring denne singularitet findes begivenhedshorisonten, som definerer det sorte huls kant – det vil sige den grænse, hvor intet kan undslippe det sorte huls tyngdekraft. Sorte huller er gådefulde kosmiske fænomener, som danner basis for mange af fysikkens endnu uafklarede spørgsmål om Universet.



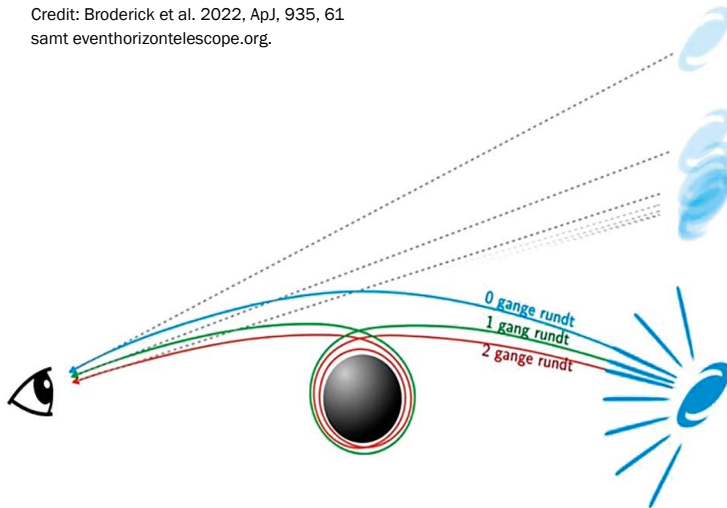
Figuren viser, hvordan lysstrålers baner krummer i nærheden af et sort hul (eller et andet supertungt objekt som en neutron-stjerne). De hvide stråler ender i det sorte hul, mens de røde blot bliver bøjet dramatisk af dens tyngdekraft. Når man kigger på et sort hul, ser man ikke kun den side, man kigger på. Lys fra både forside og bagside kan nemlig rejse mod en, fordi lyset bøjes rundt om horisonten af tyngdekraften. Ser man mod et sort hul, vil stjerner derfor altid stå over horisonten, selv når de faktisk fysisk ligger bag det sorte hul.



Figuren viser lysets baner nær kanten af et ikke-roterende sort hul. Det sorte huls singularitet (uendeligheden i hjertet af hullet) er indikeret med en sort prik, og begivenhedshorisonten (point of no return) er markeret med den stiplede linje. Længere ude findes den såkaldte foton-sfære, hvor lyset kan gå i kredsløb om det sorte hul. Desto tættere lyset kommer på foton-sfæren, desto længere kan det kredse om det sorte hul. Men da banen ikke er stabil, vil lyset enten falde væk fra det sorte hul eller spiralere ind mod singulariteten.



Med det internationale Event Horizon Telescope, som reelt er et netværk af radioteleskoper spredt ud over Jorden, er det lykkedes forskere at tage de første rigtige billeder af et sort hul i galaksen M87. Billedet viser retteligt "skyggen" af det sorte hul, da selve hullet er usynligt. Den asymmetriske skygge viser, at det sorte hul roterer.  
Credit: Broderick et al. 2022, ApJ, 935, 61 samt eventhorizontelescope.org.



Figuren viser, hvordan det samme objekt, her en galakse, kan ses flere steder på nattehimmelen nær et sort hul, fordi lyset kan tage mange forskellige baner om det sorte hul. De ekstra billeder af galaksen bliver mere og mere mast sammen, jo tættere vi kigger på kanten af det sorte hul.  
Illustration: Peter Laursen, NBI.

#### Videre læsning

Denne artikel er en bearbejdet udgave af en artikel, der også bringes i tidsskriftet *Kvant*.

Resultaterne beskrevet i artiklen er publiceret i den videnskabelige afhandling: Sneppen, A. (2021): Divergent reflections around the photon sphere of a black hole. *Scientific Reports*, Vol. 11, 14247. doi.org/10.1038/s41598-021-93595-w

Luminet, J. (1979): Image of a spherical black hole with thin accretion disk. *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 75, 228-235.

Se også eventhorizontelescope.org

end den sidste. Så jo tættere, vi kommer på det sorte huls kant, des tyndere vil billederne blive. Lige udenfor randen af et sort hul vil spejlbillederne af dig, din planet og lyset fra hele vores univers derfor gentage sig i det uendelige.

En sidste krølle på historien er, at rejsetiden for lyset bliver længere, jo flere gange det skal rundt om det sorte hul. Det betyder, at spejlbillederne bliver mere og mere "forsinkede" og derved har rejst fra fjernere og fjernere tidspunkter i fortiden. Hvis man forestiller sig en stjerne undergå en supernova-eksplosion i en bagvedliggende galakse, vil man derfor i teorien kunne se denne stjernedød ske igen og igen.

Den nye forskning afslører, at dette uendelige sæt af billeder gælder for alle sorte huller. Lige fra ensomme sorte huller, som roterer nær lysets hastighed, til den supertunge mastodont i midten af Mælkevejen. Overalt i kosmosset er sorte huller således klædt i Universets lys.

#### En test af vores forståelse af tyngdekraft

Det resultat, jeg har fortalt om i denne artikel, er ikke bare en fascinerende abstraktion – det åbner også en ny mulighed for at teste vores forståelse af tyngdekraft. For hele dette flotte maleri på kanten af sorte huller følger direkte fra mine omskrivninger af Einsteins ligninger for tyngdekraft. Hvis det derfor lykkes at observere dette fænomen i virkelighedens verden, bliver det derved en direkte test af den beskrivelse af tyngdekraft, som Einstein udviklede – en test af, om vi forstår tyngdekraften selv i universets vildeste regime. Event-Horizon-Teleskopet har i de seneste år taget de første billeder af sorte huller, men det er endnu grumsede billeder, og det vil kræve store fremskridt i opløsning at se de fine detaljer. Derfor kommer det til at blive de næste generationer af teleskoper (og forskere), som for første gang for mulighed for at se Universet på kanten af sorte huller. ■

## Einsteins ligninger og tyngdekraften

Den første løsning af Einsteins ligninger for tyngdekraft blev lavet af Karl Schwarzschild i østfrontens skyttegrave under første verdenskrig – og en matematisk konsekvens af Schwarzschilds løsning var den mulige eksistens af sorte huller, hvor tyngdekraften bliver uendelig stor. Einsteins ligninger beskriver, at tyngdekraft er formen på universets rum og tid. Universets objekter former den rum-tid, de ligger i, og rumtidens form bestemmer, hvordan objekterne bevæger sig.

Det kritiske for at løse, hvordan legemer (eller lys) bøjer i sine baner af tyngdekraft, er altså, at man skal forstå, hvordan universets rum-tid er formet. Mine forskningsresultater baserede sig på, at jeg omskrev disse ligninger til at se, hvad der sker med disse ligninger, når man går tæt på den vildeste tyngdekraft i universet – det vil sige mod kanten af sorte huller.



Sådan tager IceCube-Observatoriet sig ud på overfladen. Selve detektoren befinder sig dybt nede i isen. Foto: Martin Wolf, IceCube/NSF

# JAGTEN PÅ ET BEVIS PÅ KVANTETYNGDEKRAFT

I et nyt studium har forskere kigget på flere end 300.000 målinger af neutrinoer fra eksperimentet IceCube i Antarktis for at nærme sig et svar på spørgsmålet, om der også findes tyngdekraft på kvanteniveau.

**F**lere tusinde sensorer fordelt over en kvadratkilometer i isen tæt ved Sydpolen skal give svaret på et af fysikkens store spørgsmål: Findes der tyngdekraft i den atomare verden? Sensorerne registrerer neutrinoer, som er partikler uden elektrisk ladning og næsten uden masse, som kommer til Jorden fra rummet. Et forskerhold fra Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, har været med til at udvikle den metode, der skal benytte viden om neutrinoerne til at afklare, om kvante-tyngdekraft findes.

»Hvis der findes kvante-tyngdekraft, som vi tror, vil det være en af de brikker, som kan forene de to sider af fysikken. I dag bruger vi

den klassiske fysik til at beskrive fænomener som tyngdekraft i vores omgivelser, men kvantemekanik, når der er tale om den atomare verden. Det vil være smukt, hvis de to sider af fysikken kan forenes til én stor, sammenhængende teori,« siger adjunkt Tom Stuttard fra Niels Bohr Institutet.

Tom Stuttard er medforfatter til en nylig artikel i tidsskriftet *Nature Physics*, hvor forskere fra NBI sammen med amerikanske kolleger beskriver et stortilet projekt, hvor de har studeret flere end 300.000 neutrinoer. Der er dog ikke tale om de neutrinoer fra det ydre rum, som IceCube normalt søger efter, men om neutrinoer dannet i Jordens atmosfære. Dannelse af neutrinoer i atmosfæren sker, når partikler

med høj energi fra rummet kolliderer med dinitrogen eller andre molekyler.

»Fordelen ved at se på neutrinoer dannet i Jordens atmosfære er, at der er langt flere af dem. Vi havde brug for data fra mange neutrinoer til at vise, at vores metode fungerer. Det har vi vist nu. Dermed er vi klar til næste fase, som er at se på neutrinoer, der har rejst lang vej fra fjerne kilder i rummet,« siger Tom Stuttard.

## Rejser uforstyrret tværs gennem Jorden

IceCube Neutrino Observatoriet er anlagt ved siden af forskningsstationen Amundsen-Scott South Pole Station i Antarktis. De fleste astronomiske og astrofysiske observatorier er naturligvis bedst til at

**Om forfatteren**  
Morten Andersen er Videnskabsjournalist. Artiklen er oprindelig publiceret på KU Sciences' hjemmeside. I denne version er nogle afsnit udvidet af Aktuel Naturvidenskab.

**Om forskeren**

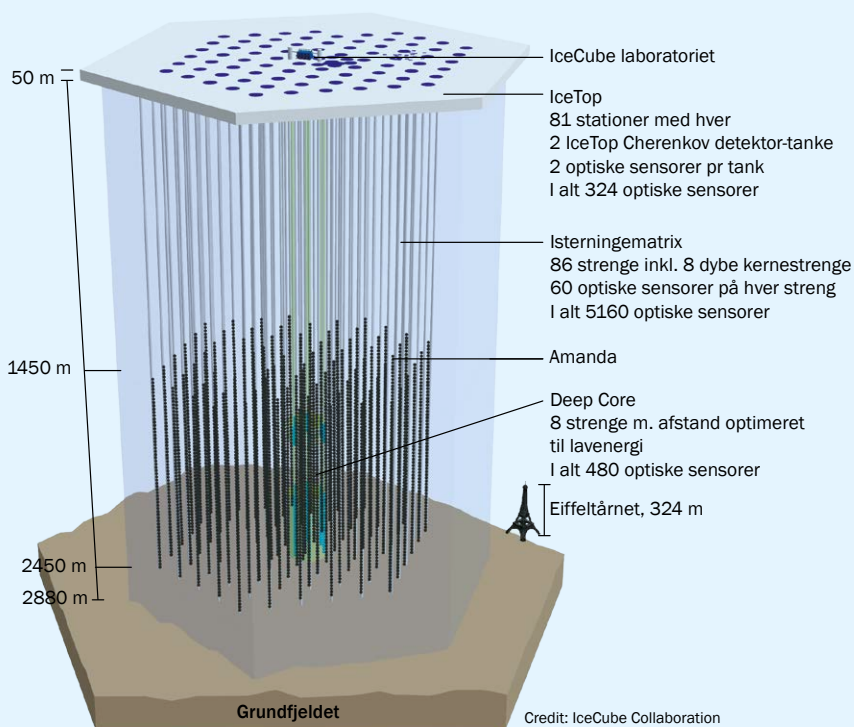


Tom Stuttard er adjunkt ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Han forsker i fundamental neutrino-fysik med data fra IceCube Neutrino-observatoriet på Sydpolen.

thomas.stuttard@nbi.ku.dk

## IceCube-Observatoriet



Hvert sekund passerer en trillion neutrinoer gennem din krop. Men det lægger vi ikke mærke til, da neutrinoer stort set ikke vekselvirker med stof. Hvis man byggede en detektor af kropsstørrelse, ville man kun kunne registrere en vekselvirkning cirka én gang hvert 100. år. Og for netop det energispektrum, som IceCube-Observatoriet kigger på, vil det endda kun være én gang for hvert 100.000 år. Det er grunden til, at det kræver en meget stor detektor at måle neutrinoer.

IceCube-Observatoriet fylder, hvad der svarer til én kubikkilometer is, og består af 86 kabler nedsænket i huller i isen, hvor hvert kabel er udstyret med 60 digitale optiske moduler. Hvert af disse 5.160 optiske moduler er udstyret med ekstremt følsomme lyssensorer samt minicomputere, der transmitterer data til overfladen. Derudover udgør yderligere 324 optiske moduler en detektor på overfladen kaldet IceTop.

studere rummet over dem. Men for IceCube er det lige modsat: Observatoriet er bedst til at studere himlen over den modsatte side af Jorden, altså den nordlige side. Det skyldes, at mens neutrinoen ubesværet rejser gennem vores planet – endda også gennem den varme, kompakte kerne – så bliver de fleste andre partikler stoppet. Dermed er signalet meget rent for de neutrinoer, der kommer fra den nordlige side af Jorden.

IceCube-Observatoriet køres af University of Wisconsin-Madison, USA. Flere end 300 forskere fra hele verden deltager i det videnskabelige samarbejde. Københavns Universitet er et af flere end 50 universiteter, som har et IceCube-center for neutrino-studier.

Fordi neutrinoen ikke har elektrisk ladning og næsten ingen masse, bliver den hverken påvirket af elektromagnetisme eller af de stærke kernekrafter: Den bevarer sin grundtilstand selv efter milliarder af lysårs rejse gennem rummet.

Det centrale spørgsmål er, om neutrinoens egenskaber virkelig er fuldstændigt uændrede efter rejse over lang afstand, eller om det trods alt er muligt at registrere ganske små forandringer.

»Hvis neutrinoens tilstand forandrer sig næsten umærkeligt på den måde, som vores hypotese siger, så vil det være den første stærke indikation på, at kvante-tyngdekraft findes,« siger Tom Stuttard.

### Neutrinoens tre nuancer

Det kræver baggrundsinformation at forstå, hvilke forandringer i neutrinoens egenskaber som forskerholdet er på udkig efter. Vi kalder neutrinoen en partikel, men i virkeligheden består den af tre samtidigt producerede partikler. Dette kaldes i kvantemekanikken for superposition. Neutrinoen kan have tre grundlæggende konfigurationer, som fysikerne kalder forskellige "smage" (flavors): elektron-, muon- og tau-neutrino. Det er



Credit: Robert Schwarz, NSF

Billedet viser det sidste af de 5.196 digitale optiske moduler, der blev installeret i IceCube-observatoriet og dermed fuldførte detektoren.





karakteristisk for neutrinoer, at de på deres rejse kan skifte mellem de forskellige konfigurationer – et kvantefænomen, som kaldes neutrino-oscillation.

Så længe en kvantepartikel ikke er forstyrret af noget som helst udefra, vil det, man observerer i en måling af den, udelukkende være bestemt af partiklens egne kvanteegenskaber. Dette kaldes kvantekohærens. Når forskere taler om “brud på kohærens” eller “dekohærens” betyder det således, at partiklernes kvanteegenskaber ikke længere er tydelige, fordi målingerne er et resultat af både partiklens kvanteegenskaber og partiklens vekselvirkninger med omgivelserne. Man kan også tænke om brud på kohærens som en proces, hvor et system bevæger sig fra at opføre sig som et kvantemekanisk system over mod at opføre sig som et klassisk, fysisk system.

»I de fleste eksperimenter med kvantepartikler bliver kohærens hurtigt brudt, men det skyldes formentlig ikke kvante-tyngdekraft. Det er simpelthen bare ekstremt svært at skabe perfekte forhold kunstigt.

For eksempel vil man gerne køre sine eksperimenter i vakuum, men i praksis lykkes det stort set altid for nogle få molekyler at slippe ind. Men neutrinoen bliver simpelthen ikke påvirket af stof i omgivelserne. Derfor ved vi, at brud på kohærens ikke er forårsaget af menneskeskabte problemer med forsøgsopstillingen,« forklarer Tom Stuttard.

### Mange kolleger var skeptiske

På spørgsmålet, om resultaterne af det studie, der er offentliggjort i *Nature Physics*, er som forventet, svarer forskeren:

»Vi befinder os i en sjælden kategori af forskningsprojekter. Nemlig eksperimenter, hvor der ikke findes nogen etableret teori. Derfor vidste vi simpelthen ikke, hvad vi skulle forvente. Imidlertid vidste vi, at vi kunne lede efter nogle af de generelle egenskaber, som vi kunne forvente, at en kvanteteori for tyngdekraft ville have.«

»Ganske vist havde vi håbet på at se forandringer, der kunne tyde på effekten af kvante-tyngdekraft. I dette tilfælde kunne det være, at det sinus-formede mønster i neutrino-

oscillationerne ville blive udvasket, så vi i stedet havde observeret noget, der mere gik i retning af et statistisk gennemsnit af alle neutrino-typer. Men det faktum, at vi ikke så sådanne forandringer, udelukker på ingen måde, at de eksisterer. Når en atmosfærisk neutrino detekteres på Antarktis, har den typisk rejst gennem Jorden. Det vil sige en rejse på cirka 12.700 km, hvilket er meget kort sammenlignet med de neutrinoer, der er rejst hertil fra de ydre rum. Tilsyneladende er det nødvendigt med meget større afstand for at opnå en målbar effekt af kvante-tyngdekraften, hvis den altså findes,« siger Tom Stuttard. Han tilføjer, at det vigtigste formål med studiet var at vise, at holdets metode virker:

»I årevis har mange fysikere tvivlet på, at det nogensinde ville være muligt at teste kvante-tyngdekraft. Vores analyse viser, at det faktisk er muligt. Og med fremtidige målinger af astrofysiske neutrinoer samt udvikling af mere nøjagtige detektorer i løbet af det kommende årti håber vi, at vi endelig bliver i stand til at besvare dette grundlæggende spørgsmål.« ■

En kunstnerisk gengivelse af, hvordan de digitale optiske moduler hænger som perler på en snor i huller i den krystallklare is. Credit: Jamie Yang, IceCube Collaboration

### Videre læsning

Den videnskabelige artikel i *Nature Physics* Search for decoherence from quantum gravity with atmospheric neutrinos. *Nat. Phys.* (2024). doi.org/10.1038/s41567-024-02436-w

Rune Elgaard Mikkelsen og Ulrik Ingerslev Uggerhøj: En gigantisk isterning – lysglimt fra Antarktis' dyb fortæller om kosmos. *Aktuel Naturvidenskab*, 4-2013

Web-sider: icecube.wisc.edu

nbi.ku.dk/english/research/experimental-particle-physics/icecube

Lotte Jelsbak måler her koncentration af DNA isoleret fra en bakterie. Efter målingen bliver prøven sendt til sekventering for at kortlægge DNA-sekvensen og dermed bakteriens genom. Dette vil afsløre, om bakterien indeholder gener for antibiotikaresistens. Foto: Minton Studio ApS/ Matthew Minton



# JAGTEN PÅ BAKTERIERS RESISTENSMEKANISMER

I et nyt studium har forskere og læger afsløret, at en simpel mutation i et gen har gjort bakterier resistente overfor en specifik type antibiotika. Det er et eksempel på, hvorfor den løbende overvågning af nye resistensmekanismer er afgørende for at kunne behandle bakterieinfektioner.

**Forfatterne**  
Lotte Jelsbak er lektor ved Roskilde Universitet  
ljelsbak@ruc.dk

Minna Rud Andreassen er tidligere ph.d.-studerende på Roskilde Universitet og nu akademiker på Rigshospitalet

Katrine H. Hansen er speciallæge ved Hvidovre Hospital

Kristian Schønning er overlæge ved Rigshospitalet.

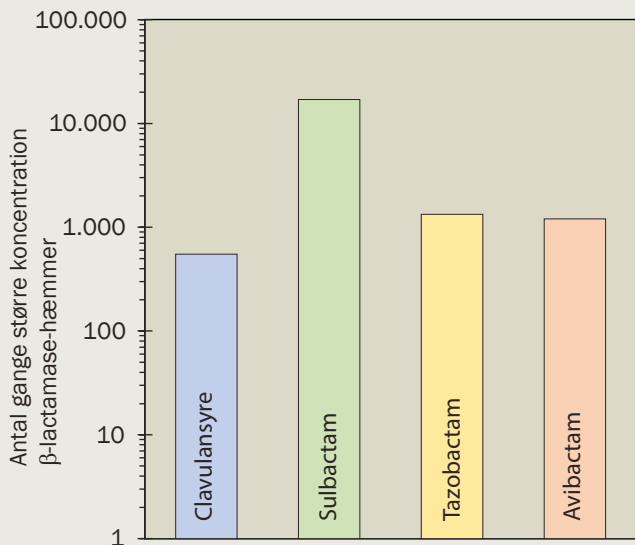
**B**akteriers resistens overfor antibiotika er et problem, der potentielt kan true vores muligheder for at behandle sygdomme, der skyldes bakterieinfektioner. Derfor undersøger de kliniske mikrobiologiske afdelinger på landets hospitaler løbende bakterier isoleret fra patienter med alvorlige og ofte livstruende infektioner for, om bakterierne er resistente overfor antibiotika, og hvilke typer antibiotika, de i givet fald er resistente overfor. Det er et

helt essentielt arbejde for at tilrettelægge den mest optimale og succesfulde behandling af patienterne.

Når man undersøger bakterierne for resistens, foregår det primært på to forskellige måder, som på fagsproget kaldes henholdsvis fænotypisk og genotypisk karakterisering.

Ved fænotypisk karakterisering dyrkes bakterier isoleret fra patienterne ved tilstedeværelse af forskellige typer af antibiotika i forskellige

koncentrationer. Hvis bakterierne kan vokse ved tilstedeværelse af en vis koncentration af antibiotika, så er bakterierne resistente, og behandling med dette stof vil derfor ikke virke. Ved genotypisk karakterisering bestemmes DNA-sekvensen for en given bakterie. Herefter sammenlignes DNA-sekvensen med databaser for alle kendte resistens-gener, og man kan på den måde finde ud af, hvilke resistens-gener, der er til stede i bakterien, og dermed hvilke typer antibiotika, den er resistent overfor.



Figuren viser, hvor mange gange større koncentration af fire forskellige typer  $\beta$ -lactamase-hæmmer (målt i  $\mu\text{M}$  = mikro-Mol), der skal bruges for at hæmme 50 % af enzym-aktiviteten af det muterede enzym CTX-M-255 i forhold til det oprindelige enzym CTX-M-27.

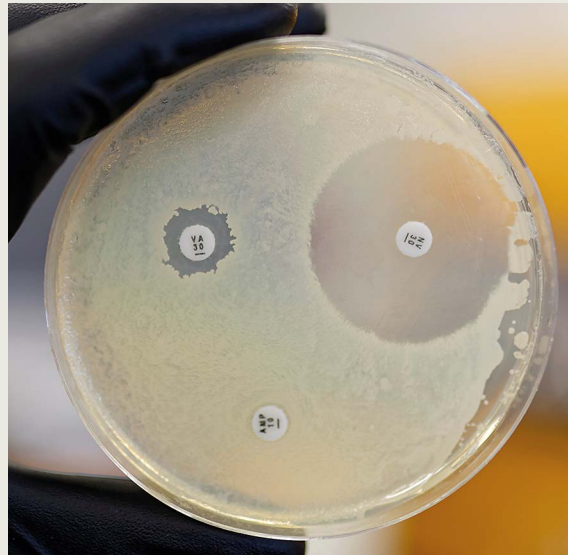


Foto: Shutterstock.

Billedet viser et eksempel på fænotypisk karakterisering, hvor en bakterieprøve testes for resistens mod forskellige stoffer. Hvis stofferne virker antibiotisk, vil der opstå en zone omkring prøverne, hvor bakterierne ikke kan vokse. Omvendt, hvis bakterierne er resistente, vil bakterierne vokse uhindret.

Udover at være en del af det akutte beredskab, bruges resultaterne fra resistensundersøgelserne også til at forbedre diagnostik og behandling ved at opbygge vigtig viden om bakteriernes evne til hele tiden at tilpasse sig vores behandlinger ved at tilegne sig eller udvikle nye typer af resistens.

### Bakterier med usædvanlig resistens-profil

I et nyt studium har vi undersøgt en række bakterieprøver, som ved fænotypisk karakterisering havde udvist en ny og uventet resistensprofil. Nogle af bakterierne viste således resistens overfor den type antibiotika, der kaldes piperacillin/tazobactam, men var samtidig følsomme overfor såkaldte cephalosporiner. Resistens overfor de to antibiotika-behandlinger plejer at følges ad i en given bakterie. Vi ønskede derfor at undersøge, om disse bakterier havde udviklet en ny type resistens og i givet fald klarlægge, hvordan denne resistens-type virker. Vi havde særligt fokus på, om bakterierne havde resistens-gener overfor den type penicilliner, der kaldes  $\beta$ -lactamer (udtales beta-lactamer), da det er den mest brugte type antibiotika i Danmark.

Det viste sig, at bakterierne havde udviklet et nyt resistens-gen på grund af en simpel mutation i et allerede kendt gen, der udtrykker et resistens-protein kaldet CTX-M-27. Dette protein er et enzym, der kan nedbryde netop  $\beta$ -lactamer, og derfor kaldes enzymet en  $\beta$ -lactamase. Man kan dog forhindre enzymet i at udøve sin effekt ved at tilsætte stoffer, såkaldte inhibitorer, der binder sig til enzymet og dermed blokere det fra at kunne binde sig til penicillinerne. Det vil sige, at behandling af infektioner med bakterier, der udtrykker genet CTX-M-27, stadig kan være succesfulde, hvis man giver penicillin sammen med en sådan  $\beta$ -lactamase-hæmmer.

Ændringen i det nye resistensgen viser sig ved, at der er en enkelt aminosyre i det udtrykte enzym, der er udskiftet med en anden. Men denne ændring (mutation) betyder, at enzymet ikke længere kan blokeres af en hel gruppe af vigtige  $\beta$ -lactamase-hæmmere, der bruges sammen med penicilliner til behandling af alvorlige infektioner.

I vores undersøgelse klonede og oprensede vi det muterede protein, som er blevet navngivet CTX-M-255, og sammenlignede dets aktivitet med det oprindelige enzym CTX-M-27. Disse undersøgelser viste, at der skal bruges op mod 10.000 gange så høj koncentration af  $\beta$ -lactamase-hæmmer for at hæmme CTX-M-255 som for at hæmme CTX-M-27 (se figur).

### Bakterier i evig forandring

Ved at kigge nærmere i genom-databaserne fandt vi flere andre eksempler på bakterier med denne genvariant. Varianten har dog bare ikke været karakteriseret før og er derfor ikke blevet opdaget. Det faktum, at vi kan finde den samme hidtil ukendte resistensmekanisme på tværs af landegrænser og kontinenter tyder på, at der er et stærkt evolutionært selektionspres i bakterierne for denne variant. Det understreger, hvordan bakterierne hele tiden finder veje, hvorpå de kan undgå vores behandling, og vigtigheden af, at vi som forskere klarlægger disse udviklinger.

Vi håber, at grundig karakterisering af nye resistens-mekanismer vil bane vejen for bedre at forstå vekselvirkningen mellem behandling og udvikling af nye resistenser, og at det både kan gøre os bedre til at vælge den rette behandling og at give ideer til helt nye behandlinger. ■

**Videre læsning:**  
Videnskabelige artikel: Identification of a CTX-M-255  $\beta$ -lactamase containing a G239S substitution selectively conferring resistance to penicillin/ $\beta$ -lactamase inhibitor combinations. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, Volume 79, Issue 4, April 2024, Pages 810–814. doi.org/10.1093/jac/dkae033

Foto fra en molergrav. Moler med de markante mørke askelag ses bedst i kystklinter og lergrave på Mors og Fur.  
Foto: Colourbox.

# VULKANSK ASKE KAN BINDE ENORME MÆNGDER CO<sub>2</sub>

**En helt naturlig proces, hvor CO<sub>2</sub> bliver bundet i mineraler fra vulkansk aske, kan hjælpe os med at vinde klimakampen ved at fjerne CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. Danske forskere planlægger nu det første danske testanlæg, som skal demonstrere, at vulkansk aske i den danske undergrund kan bidrage betydeligt til at komme i mål med vores klimaambitioner.**

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

**D**et er ikke nok blot at stoppe med at udlede CO<sub>2</sub>, hvis vi skal bremse den globale opvarmning. Vi skal også have trukket CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren og have det deponeret et eller andet sted for at komme i mål med vores klimaambitioner. Faktisk skal vi ifølge det internationale klimapanel (IPCC) årligt trække hele 10 gigaton CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren for at vende global opvarmning til global afkøling. En af måderne til at fjerne CO<sub>2</sub> permanent fra atmosfæren er ved at lagre det i undergrunden. Her arbejder forskere og industri allerede med løsninger til at indfange CO<sub>2</sub> og pumpe den ned i undergrunden i de lag, som olie- og gasboringer har efterladt, eller i andre porøse underjordiske lag.

En anden løsning kan være at omdanne CO<sub>2</sub> til naturlige mineraler. CO<sub>2</sub>-mineralisering, altså hvor CO<sub>2</sub> bliver bundet kemisk i faste mineraler på ubestemt tid, er ikke en ny opfindelse. Det har naturen gjort i milliarder af år, og det er faktisk den mekanisme, der helt overordnet styrer Jordens CO<sub>2</sub>-balance.

Netop når det kommer til at mineralisere CO<sub>2</sub> og binde det i undergrunden, er der flere muligheder for at hjælpe naturen på vej, og i den sammenhæng skal vi kigge dybt under Jorden i blandt andet Danmark. Mellem 200 og 300 meter nede i den danske undergrund ligger flere hundrede tynde lag af vulkansk aske. Asken indeholder store mængder grundstoffer, der kan binde CO<sub>2</sub> i mineraler. Kan man bringe

CO<sub>2</sub> og vulkansk aske sammen, åbner det op for muligheden for at binde store mængder mængder CO<sub>2</sub> dybt nede i Jorden og dermed fjerne det permanent fra atmosfæren.

»Over geologisk tid foregår CO<sub>2</sub>-mineralisering hele tiden. Jordens kontinenter bevæger sig, hvilket bringer friske mineraler i undergrunden til overfladen, blandt andet i forbindelse med dannelsen af bjerge. Når mineralerne kommer op til overfladen, trækkes CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren. Alene Himalaya trækker nok CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren til at modvirke en stor del af CO<sub>2</sub>-udslippet fra verdens vulkaner, og havde Jorden ikke haft denne proces, havde vores atmosfære været som på Venus, hvor indholdet af CO<sub>2</sub> i atmosfæren er over 90 procent,

blandt andet fordi planeten ikke har nogen pladetektonik,« forklarer professor David Lundbek Egholm fra Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet.

David Lundbek Egholm arbejder med sine kollegaer på at udvikle metoder til at hjælpe geologien lidt på vej, så vi ikke skal vente i geologisk tid med at få hjælp fra undergrunden til at trække CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren. Det kommer vi tilbage til lige om lidt.

### Mineraler trækker CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren

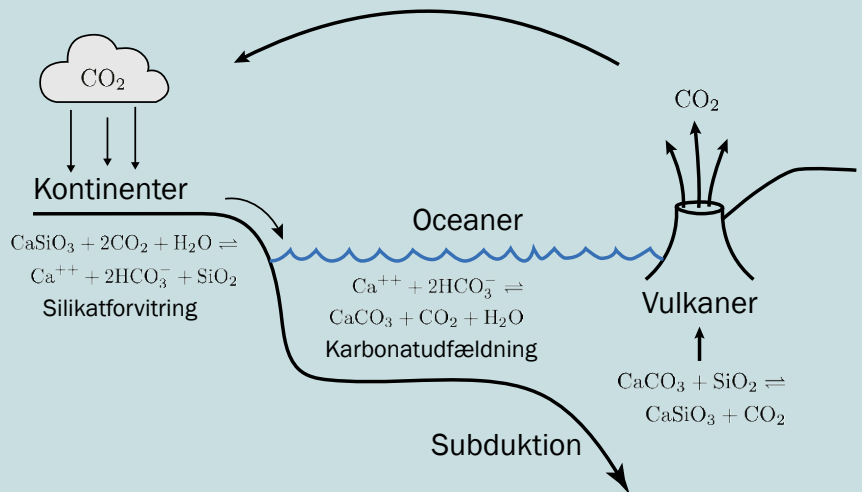
Først skal vi snakke om, hvad der egentlig sker ude i naturen hver dag og hele tiden.

Mineralisering er en helt naturlig geokemisk proces. Når det gælder CO<sub>2</sub>, har dette molekyle brug for vand og særlige grundstoffer for at blive mineraliseret, altså blive til en fast del af mineralerne. I naturen bliver CO<sub>2</sub> fra atmosfæren opløst i regnvand, og ved kontakten med såkaldte silikatminerale bliver positivt ladede kationer, for eksempel calcium, jern og magnesium, samt negativt ladede hydrogenkarbonat-ioner (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) frigivet. Når de positive og negative ioner senere finder sammen, skaber de et nyt karbonatmineral, for eksempel kalksten, som fanger kulstoffet fra CO<sub>2</sub> i mineralet. Når først CO<sub>2</sub> på den måde er bundet i karbonatminerale, er det fjernet permanent fra atmosfæren.

Tricket til at binde CO<sub>2</sub> til mineraler er altså at have adgang til de rette grundstoffer og mineraler. Silikatminerale findes heldigvis næsten overalt i Jordens skorpe, altså i undergrunden. I takt med, at undergrunden bevæger sig, bliver de friske silikatminerale skubbet mod overfladen, og det vil sige, at bjergkæder, som stadig er i gang med at vokse, hele tiden er med til at trække CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren.

»På geologisk tidsskala virker denne her proces rigtig godt til at trække CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren, og den vil

## Jordens langsomme carbonkredsløb



De fleste bjergarter i Jordens yderste lag indeholder såkaldte silikatminerale, som når de udsættes for regnvand nedbrydes ved en kemisk proces, der både frigiver kationer, som f.eks. Ca<sup>2+</sup>, og omsætter CO<sub>2</sub> fra regnvandet til hydrogenkarbonat (bikarbonat), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, i grundvand og floder – denne proces kaldes silikatforvitring.

Kationerne og hydrogenkarbonat skylles ud til oceanerne igennem floder. I havvandet fortsætter de kemiske processer, og kationerne og hydrogenkarbonat danner nu nye faste mineraler, f.eks. CaCO<sub>3</sub>, i en proces kaldet karbonatudfældning. Ved at kombinere de to geokemiske processer har Jorden sin egen metode til at omsætte CO<sub>2</sub> fra atmosfæren til faste karbonatbjergarter; en metode som igennem milliarder af år har balanceret CO<sub>2</sub>-udslip fra vulkaner og holdt drivhuseffekten på et fornuftigt niveau. Men vi mennesker udleder CO<sub>2</sub> langt hurtigere end vulkaner, og derfor er der behov for at accelerere de naturlige processer.

også virke i fremtiden og fjerne alt den CO<sub>2</sub>, som vi har udledt. Hvis mennesker fyrede al den olie, kul og naturgas, som findes i undergrunden, af, ville det nok tage omkring 100.000 til 200.000 år for Jorden at få det ud af atmosfæren igen. Men det ville ske. Langsomt, men sikkert.

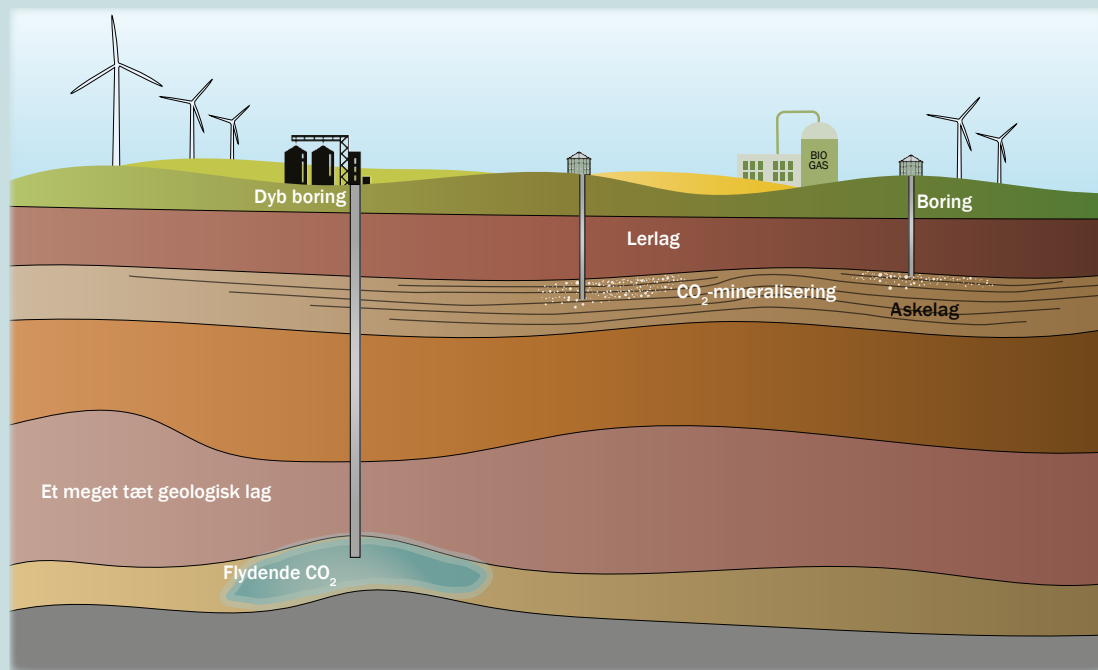
Den væsentlige pointe er, at Jorden ikke går under på grund af menneskers CO<sub>2</sub>-udledning. Men det er klart, at i de mellemliggende 100.000 til 200.000 år ville Jorden opleve meget markante klimaforandringer og vandstandsstigninger, og derfor er CO<sub>2</sub>-mineralisering på geologisk tidsskala ikke hurtigt nok for os mennesker. Vi må accelerere denne proces, hvis vi og de kommende generationer skal have gavn

af den,« forklarer David Lundbek Egholm.

### Vulkansk aske binder CO<sub>2</sub> særdeles godt

Professor Christian Tegner fra Institut for Geoscience fortæller, at ikke alle mineraler og bjergarter er lige gode til at binde CO<sub>2</sub>, men nogle gør det både hurtigt og effektivt. Det gælder især vulkanske (basaltiske) bjergarter, som indeholder store mængder calcium, jern og magnesium. Benytter man systematisk vulkanske bjergarter, kan man derfor accelerere CO<sub>2</sub>-mineralisering. En anden metode til at øge den hastighed, hvormed CO<sub>2</sub> bliver bundet til mineraler, er at øge koncentrationen af CO<sub>2</sub> i vand. Hvis man for sjovs skyld forestiller sig, at regnvand bestod af dansk vand, altså

## To teknologier til at give CO<sub>2</sub> tilbage til undergrunden



### Ved CO<sub>2</sub>-lagring:

- Lagrer CO<sub>2</sub>-en dybt (>800 m)
- CO<sub>2</sub> er i flydende form
- Kræver særlige geologiske strukturer for at holde CO<sub>2</sub> nede.
- CO<sub>2</sub> forbliver på flydende form i tusindvis af år
- Sker ved brug af få, store anlæg

### Ved CO<sub>2</sub>-mineralisering:

- Omdanner CO<sub>2</sub> til faste karbonat-mineraler, som forbliver i undergrunden
- Kun mindre mængder CO<sub>2</sub> er opløst i vand ad gangen
- Virker på mindre dybder og bruger CO<sub>2</sub>-gas
- Afhænger af vulkanske lag med silikatmineraler
- Kan ske ved brug af flere mindre anlæg

regnvand tilsat yderligere CO<sub>2</sub>, ville det speede den geologiske CO<sub>2</sub>-mineralisering op. Forskere har da også lavet forsøg, hvor de har badet vulkanske mineraler i dansk vand og set, hvor hurtigt CO<sub>2</sub> fjernes. Det går ganske stærkt.

Nuvel, én ting er, hvad naturen kan og gør, noget andet er, hvordan vi mennesker kan udnytte det. Hvad skal vi for eksempel bruge den viden til i et land som Danmark, hvor der hverken er vulkaner, eller regner med dansk vand?

Christian Tegner fortæller, at selvom vi ikke har aktive vulkaner i Danmark, har vi og landene omkring os faktisk noget, som måske er endnu bedre. For 56 millioner år siden var Grønland forbundet til resten af Europa, men begyndte at drive mod vest og nord. Det betød, at undergrunden under Nordatlan-

ten begyndte at åbne sig, og der opstod en masse kæmpevulkaner. Disse vulkaner gik i udbrud og sendte i årtusinder kulsorte skyer af aske ind over Europa. Danmark var på det tidspunkt ikke et sted at bo, for det lå under flere hundrede meter vand, men ikke desto mindre dryssede asken ned fra himlen, dalede ned gennem vandsøjlen og lagrede sig på havbunden mellem havbundssedimenterne. Askelag efter askelag blev aflejret gennem årene, indtil en dag vulkanerne ikke havde mere at udspy. På det tidspunkt var der blevet dannet flere hundrede askelag. Hvis man i dag klapper alle askelagene sammen til ét lag, ville laget være mellem to og fire meter tykt.

Spol tiden 56 millioner år frem, og så er Danmark ikke længere under vand. Askelagene ligger i dag i en dybde på 200 til 300 meter i

undergrunden, men nogle steder, for eksempel ved Limfjorden og Fur, har istidsprocesser skubbet askelagene op til overfladen, hvor det ligger i moler (havbundssedimenter), og hvor alt fra lokale og turister til forskere kan gå på jagt i lagene efter flotte fossiler. I takt med, at lagene er blevet skubbet op til overfladen, er den vulkanske aske, som indeholder enorme mængder af de rigtige grundstoffer, blevet eksponeret for atmosfæren og har allerede trukket en del CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren.

»Vi har i de seneste tre år arbejdet med denne aske og studeret den. Den reagerer meget hurtigt med CO<sub>2</sub>, fordi asken har den helt rigtige kemiske sammensætning. Derudover består asken af mikroskopiske partikler af vulkansk materiale. Disse små partikler har samlet et kæmpe overfladeareal på op til



Foto af Hanklit på Mors. Moler med de markante mørke askelag ses bedst i kystklinter og lergrave på den nordlige del af Mors og på Fur samt i Thy ved Silstrup. Foto: Colourbox.

86 kvadratmeter per gram aske, hvilket fremmer bindingen af CO<sub>2</sub>. Det interessante er dog ikke den aske, der allerede er skubbet op til overfladen ved klinterne langs Limfjorden og Fur, men til gengæld de enorme mængder aske, som stadig findes i undergrunden 200 til 300 meter nede, og som endnu ikke har været udsat for atmosfæren,« siger Christian Tegner.

### Vil sende dansk vand 300 meter ned i jorden

Og så er vi fremme ved hele pointen i denne fortælling. Kan vi få CO<sub>2</sub> opløst i vand i kontakt med den vulkanske aske dybt i undergrunden, kan vi fjerne CO<sub>2</sub> fra atmosfæren på en sikker og permanent måde, så vi ikke behøver at tænke på det i resten af den tid, der lever mennesker på Jorden. Forskerne fra Aarhus Universitet har en plan.

Forskerne har indgået et samarbejde med et biogasanlæg i Salling om at sende den CO<sub>2</sub>, der også bliver dannet, når anlægget producere-

rer biogas, ned i undergrunden. Demonstrationsanlægget skal fungere på den måde, at forskerne blander CO<sub>2</sub> fra biogasanlægget med vandet fra porerummene i de geologiske lag og derved skaber en kraftig "dansk vand". Det vil foregå i 200-300 meter dybe borer i niveau med den vulkanske aske, som har ligget der i 56 millioner år. Fordelen ved at tage CO<sub>2</sub> fra biogasanlægget er desuden, at anlægget allerede sorterer gasserne i CO<sub>2</sub> og metan. Metan ryger ud i gasnetværket, mens CO<sub>2</sub> indtil nu udledes til atmosfæren. Men nu vil forskerne i stedet omdanne CO<sub>2</sub>'en til mineraler, så den ikke bidrager til drivhuseffekten, men tværtimod mindsker drivhuseffekten, fordi en stor del af biogassens CO<sub>2</sub> kommer fra fotosyntese.

Der er flere fordele ved den metode, som forskerne nu ønsker at teste. For det første bygger den på velkendte naturlige processer og på eksisterende teknologi til at opsamle CO<sub>2</sub> via biogas. For det

## Fordele ved CO<sub>2</sub>-mineralisering

Vi har allerede udledt så meget CO<sub>2</sub>, at vi ikke kan nøjes med at reducere emissioner – vi skal i fremtiden også aktivt fjerne CO<sub>2</sub> fra atmosfæren.

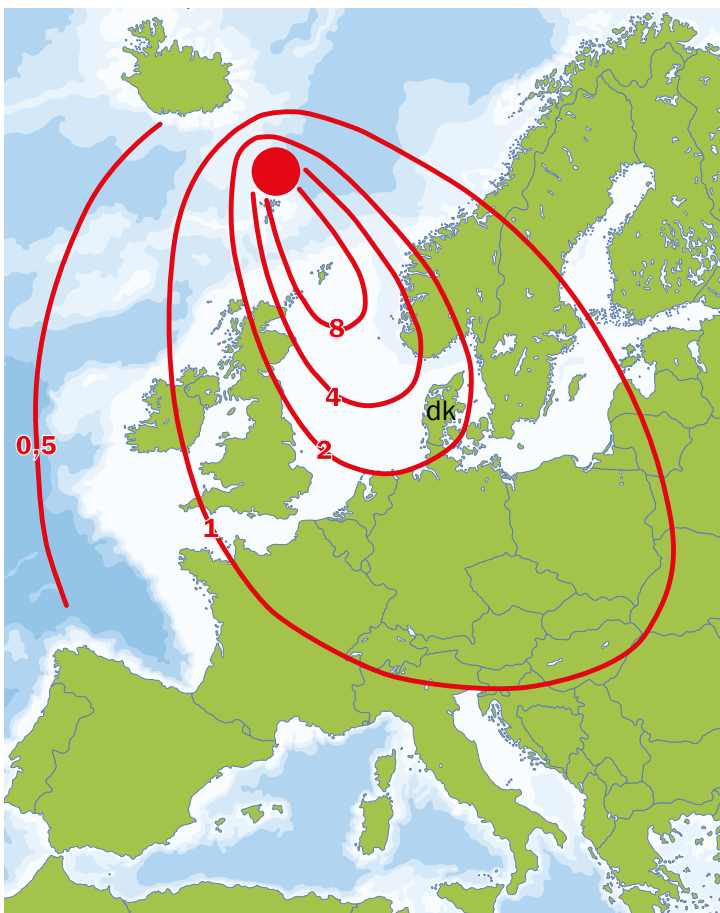
CO<sub>2</sub>-mineralisering skal først testes i Danmark, men potentielt har teknologien mange fordele, bl.a.:

- Ingen ophobning af store mængder CO<sub>2</sub> i undergrunden.
- Intet behov for langsigtet overvågning.
- Lave omkostninger og gode muligheder for lokal erhvervsudvikling.
- Virker hurtigt, og efterlader ikke CO<sub>2</sub>-lagre til kommende generationer.
- Det globale potentiale for CO<sub>2</sub>-mineralisering er i praksis uendeligt.

Kortet viser den omtrentlige udbredelse og tykkelse (i meter) af aske-lag i Nordvesteuropa. Asken kom fra vulkaner i riftzonen ved dannelsen af Nordatlanten for cirka 56 millioner år siden. Dengang var Danmark et havområde og asken blev aflejret på havbunden.

De store mængder af aske giver basis for at udbrede metoden med mineralisering til permanent lagning af CO<sub>2</sub>. Og på verdensplan er potentialet selvsagt endnu større.

Omtegnet efter Knox (1997) i Karsten Obst et al: Early Eocene volcanic ashes on Greifswalder Ooe and their depositional environment,.... Int. J. Earth Sci. 2015, 104:2179-2212. Baggrundskort: Colourbox



andet kræver den ikke på samme måde som CO<sub>2</sub>-lagring kilometerdybe borer og håndtering af koncentreret CO<sub>2</sub> under højt tryk, hvilket har betydning både for omkostninger og sikkerhed omkring anlæggene. For det tredje er CO<sub>2</sub> bundet i mineraler i al overskuelig fremtid, og metoden efterlader derfor ikke ophobet CO<sub>2</sub> i under-

grunden, som skal overvåges af de kommende generationer.

»Tanken er den, at vi aktivt skal fjerne CO<sub>2</sub> gennem "negativ udledning". Træer og planter bruger fotosyntese til at tage CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren og opbygger det i første omgang til biomasse. Men hvis vi brænder biomassen af eller omdanner den til brændstoffer, sender vi CO<sub>2</sub>'en tilbage i kredsløb. På samme måde returneres CO<sub>2</sub> i biomasse til atmosfæren ved forrådnelse. Det kan godt være, at energi fra biomasse kan erstatte en del af den fossile olie og gas, men det er ikke længere godt nok. Vi skal både gøre vores energikilder uafhængige af carbon og bruge for eksempel sol- og vindenergi samt aktivt fjerne CO<sub>2</sub> fra atmosfæren.

Det er vigtigt, at vi ikke bare cirkulerer CO<sub>2</sub>, som vi hiver op fra undergrunden via fossile brændstoffer. Vi er nødt til at tage CO<sub>2</sub> fra atmosfæren og fjerne det på



Nærbillede af moler med tre askelag. Mange steder i Danmark ligger askelagene dog i andre lærlag. Foto: David Egholm

en god og sikker måde, og det ønsker vi at udvikle en metode til,« forklarer en tredje af forskerne bag forskningsarbejdet, professor Hamed Sanei.

### Kapacitet til at mineralisere årtiers danske udledninger

Det forsøgsanlæg, som forskerne ønsker at etablere, kommer til at ligge på en mark lige ved siden af et biogasanlæg og vil bestå af tre borehuller 300 meter ned i undergrunden. Fra to af borehullerne pumpes der vand op, og efter at CO<sub>2</sub> fra biogasanlægget er tilsat vandet, pumpes det ned igen i det tredje borehul. Fra borehullerne kan forskerne løbende tage prøver, så de kan studere kemien i vandet i de geologiske lag og udfældningen af kalksten langt nede under Jordens overflade. Her skal de blandt andet studere de kemiske processer og dokumentere, hvor meget CO<sub>2</sub> den vulkanske aske omdanner og hvor hurtigt.

Hvis anlægget bliver den succes, som forskerne satser på, ser de et stort potentiale for, at vi kommer til at se mange af den slags anlæg rundt om i verden. Det hele afhænger dog af den geologiske virkelighed i undergrunden i de forskellige regioner. I store dele af det vestlige Danmark og i Nordsøen kan man bore ned til de vulkanske askelag, men på alle kontinenter findes der både gamle og nyligt aktive vulkan-systemer, hvor CO<sub>2</sub>-mineraliseringsmetoden potentielt også kan udvikles. Kigger man på mulighederne globalt, findes der i undergrunden mere end rigeligt med vulkanske mineraler til at genskabe balancen i det globale CO<sub>2</sub>-regnskab. Faktisk findes der flere tusinde gange de mængder, vi skal bruge

Hamed Sanei fortæller, at forskernes beregninger viser, at hvis anlægget er i stand til at skubbe vand med CO<sub>2</sub> ud i en radius af 200 meter, kan ét anlæg omdanne 50.000-150.000 ton CO<sub>2</sub> om året. Det er meget mere, end biogasanlægget overhovedet producerer, så der vil være kapacitet til at få tilført



CO<sub>2</sub> fra andre dele af landet eller fange mere ved for eksempel "Direct Air Capture", hvor man tager CO<sub>2</sub> direkte ud af luften. Hamed Sanei ser dog helst, at der i nærheden af alle typer anlæg, som producerer CO<sub>2</sub>, og hvor der geologisk er mulighed for det, bliver bygget anlæg til at pumpe CO<sub>2</sub> ned i den vulkanske aske i undergrunden.

»Det gode er, at det her ikke involverer alt mulig specialteknologi. Det er vandpumper og rør, som allerede er udviklet, og så arbejder vi med koncentreret "dansk vand" og ikke komprimeret flydende eller superkritisk CO<sub>2</sub> under tryk. Opskaleringen handler heller ikke om at bygge kæmpe og dyre anlæg, men om at bygge mange små anlæg. Det er vigtigt, at vi kan inspirere andre til at komme i gang,« siger han.

Hvis man vil se det store perspektiv, kan man bare skele til de faktiske tal. Alene i Skive, Morsø og Thisted kommuner er der nok vulkansk aske i undergrunden til at mineralisere omkring to gigaton CO<sub>2</sub>. Det svarer til Danmarks samlede CO<sub>2</sub>-udledning i 40 til 50 år. Ét anlæg kan dog ikke fordele CO<sub>2</sub>-holdigt vand til hele området fra ét sted indenfor kommunegrænserne, men man skal ifølge David Lundbek Egholm forestille sig, at et anlæg bliver placeret på et egnet område i to til fem år, hvori CO<sub>2</sub> omdannes til kalksten. Derefter bliver det flyttet til et andet egnet område, hvor det skal starte forfra.

»Man skal forestille sig, at hvert anlæg med to til tre små pumpehuse kan mineralisere i undergrunden af et område på størrelse med en mark. Fodaftrykket er derfor meget lille, og når anlægget fjernes igen, kan man ikke se, at det har været der. Det efterlader ingen spor og vil kunne integreres godt med landbruget,« siger han.

### Lovgivningen gav forsinkelser

Ifølge David Lundbek Egholm er det vigtigt, at man skelner mellem CO<sub>2</sub>-mineralisering i undergrunden og CO<sub>2</sub>-lagring. Mange har måske

## I Island og Mellemøsten binder man allerede CO<sub>2</sub> i mineraler i undergrunden

De tanker, som de danske forskere fra Aarhus Universitet gør sig angående muligheden for at binde CO<sub>2</sub> i vulkanske mineraler i undergrunden, er ikke nye. Faktisk har man i Island haft et anlæg til at gøre det i snart 10 år.

Det islandske projekt, der går under navnet Carbfix, fungerer på den måde, at anlægget er koblet til et lokalt geotermisk kraftværk. Den CO<sub>2</sub>, som kraftværket udleder, bliver opsamlet og blandet med vand, som bliver pumpet ned i undergrunden. Da Island næsten udelukkende består af vulkaner, indeholder undergrunden næsten ikke andet end vulkanske silikatmineraler, der er klar til at binde CO<sub>2</sub>.

Processen med at binde CO<sub>2</sub> som mineraler i undergrunden under Island tager ikke minutter eller timer, men uger og måneder. I Island består undergrunden typisk af størknede lavastrømme, og mineraliseringen foregår typisk langs sprækker i lavastenene eller i de mere porøse øvre dele af lavastrømmene. Til gengæld har undergrunden kapaciteten til at lagre tusindvis af tons CO<sub>2</sub>, som bliver mineraliseret permanent i undergrunden. I skrivende stund har Carbfix mineraliseret 101.939,4 ton CO<sub>2</sub> i undergrunden. På sådan en torsdag klokken 12:20 er dagstallet 16,8 ton.

Island har den naturlige fordel i forhold til at mineralisere CO<sub>2</sub> i undergrunden, at Island i sig selv er én stor vulkan. Til gengæld har Danmark den måske endnu større fordel, at asken i vores undergrund er meget mere finkornet og derfor hurtigere kan binde CO<sub>2</sub>.

Ligesom Island allerede har etableret et testanlæg til at mineralisere CO<sub>2</sub> i undergrunden, har man i Mellemøsten gjort det samme. Det har de gjort med projektet 44.01, der mineraliserer CO<sub>2</sub> i undergrunden under De Forenede Arabiske Emirater.

hørt om CO<sub>2</sub>-lagring og kan være bekymret for at have disse store lagre af CO<sub>2</sub> under et enormt tryk dybt nede i jordskorpen.

»Derfor vil vi gerne præsentere et alternativ. CO<sub>2</sub>-lagring bliver også nødvendigt, men vi har brug for forskellige teknologier for bedst muligt at udnytte forskellige geologiske forhold i Danmark og rundt om i verden. Vi kan godt lide tanken om at lave noget, som er lokalt forankret, og som kan skabe arbejdspladser i samarbejde med lokalt erhvervsliv og landbrug,« siger David Lundbek Egholm.

Han uddyber også, at netop det store fokus på CO<sub>2</sub>-lagring har gjort, at projektet med at minerali-

sere CO<sub>2</sub> i undergrunden har været forsinket på grund af lovgivning. Vi har i Danmark Undergrundsloven, der sikrer ret og lov ved udvinding af olie og gas. Denne lov lavede man en smule om, så det også blev muligt at lagre CO<sub>2</sub> i undergrunden, men denne ændring i loven blev lavet med tanke på lagring af flydende CO<sub>2</sub> i dybe porøse sedimentlag. Der var ikke taget højde for muligheden for at lagre CO<sub>2</sub> via mineralisering.

»Det skabte nogle udfordringer og forsinkede vores forskning i mere end et år, men der har været stor politisk interesse for vores projekt, og nu er vi forhåbentlig snart klar til at tage næste skridt,« fortæller David Lundbek Egholm. ■

### Om projektet

Projektet skal realiseres i samarbejde med Klimafonden Skive, Skive-, Morsø- og Thisted Kommuner samt De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). Projektet hedder C • ASH (CO<sub>2</sub> mineralisation by volcanic ASH).

# KLITTER PÅ STRIBE

- oversete kulturspor i  
Danmarks landskab

Foto af det højeste og bredeste sted af den 5,5 km lange Engklit, som er et helt eller delvist menneskeskabt sandflugtsdige, der beskyttede markerne ved landsbyen Hulsig på Skagens Odde mod fygesandet.

Foto: Lars Elkjær



**Om forfatteren**  
Af Søren Munch Kristiansen er ph.d. og lektor ved Institut for Geoscience, Aarhus Universitet. Den røde tråd i hans forskning er, hvordan jord og vand påvirker mennesker i dag, og hvordan vi påvirker jorden og vandet i dag og forhen.  
smk@geo.au.dk

**Nogle af Danmarks største og smukkeste klitter har vist sig slet ikke at være naturlige. I virkeligheden er de skabt af en næsten glemmt, men også fejlslagen, teknik til at tæmme den vilde natur kaldet Teilmanske sandflugtsdiger.**

**Den historie er også aktuel i nutiden, hvor vi nu kalder store indgreb i naturen for klimatilpasning.**

**N**år sand transporteres af vinden, kalder vi det flyvesand, selvom det mere hopper henad jorden end egentlig flyver. Flyvesand dækker i dag cirka 1600 kvadratkilometer – eller cirka fire procent – af hele Danmarks areal. Når flyvesandet er samlet i bakker, kalder vi dem klitter. Klitter fylder dog langt mindre i landskabet, end mængden af flyvesand kunne berettige, for mange steder er områder med flyvesand blevet opdyrket. Det tænker vi ikke over i dag. For sandet skaber ikke længere katastrofer. Vi har stoppet “sandflugtens svøbe”, som det tidligere hed. Historien om, hvordan stædige mænd overvandt sandet, begynder i 1700-tallet. Men de første forsøg på at tæmme na-

turens kræfter lykkedes ikke særlig godt. Og det er måske årsagen til, at historien om de tidligste forsøg på at dæmpe sandflugten, næsten er gledet ud af historiebøgerne. Det er heller ikke så mærkeligt, at datidens mennesker havde svært ved at tæmme sandet. For under den såkaldte lille istid, som vi i det nordatlantiske område kalder perioden fra cirka 1300 til 1850, var klimaudfordringerne store, mens forståelsen for årsager og virkninger, og hvordan man teknisk kunne tilpasse sig, var langt mere begrænset end i dag.

## **De oversete sandflugtsdiger**

Min interesse for denne historie blev vakt, da jeg blev gjort opmærksom på, at moderne laser-scan-

ninger af den store Harrild Hede i Midtjylland afslører en række nord-sydgående striber på et cirka 2 kvadratkilometer stort område. Der er flere end 110 af dem med 15 til 35 meter imellem. De længste er over en kilometer lange, og alle løber de nogenlunde nord-syd. De kan ikke umiddelbart forklares med naturlige geologiske processer, men arkæologer havde angiveligt i årtier også ledt efter et svar på, hvordan de er opstået.

Efter en del research fandt jeg frem til, at lokale historiske kilder fortæller, at der findes “Teilmannske diger” på heden. Men ingen forklaring på, hvad dette er, hvor gamle disse diger er, eller hvem Teilmann var. Og de store værker

fra 1900-tallet om sandflugtens historie nævner intet om dem. En bog fra 1788 af Erik Viborg viser sig at være nøglen. Bogen samlede dengang for første gang brugbar viden om, hvordan planter, dengang kaldet "vexter" og plantningsteknikker kunne bruges effektivt til sandflugtsbekæmpelse. Det er i store træk de metoder og planter, han her opsummerer, som vi sidenhen effektivt har kunnet anvende til at bekæmpe sandflugt (se også faktaboksen på næste side).

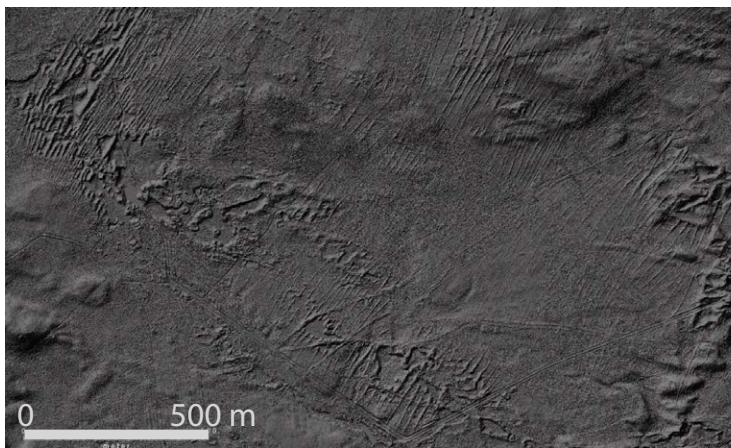
Det var imidlertid ikke Erik Viborg, som begyndte med diger til sandflugtsbekæmpelse – det er en endnu ældre historie. Den person, som Viborg giver æren for teknikken med diger til sandflugtsbekæmpelse, var herremanden Christian Hansen Teilmann i Vestjylland. Det ældste dige, dengang kaldet værn eller Teilmanske dige, får han opført i 1719 eller 1720 ved sin herregård Skrumsager. Det er flere år før, man på Sjællands nordkyster går i gang med at bekæmpe sandflugt med samme teknikker – her kaldet sandflugtsdiger.

De lange diger, som Teilmann fik opført, var forsøg på sandflugtsdæmpning, efter at udløbet af Ringkøbing Fjord flyttede sig, og store mængder flyvesand fra lagunen begyndte at fyge imod øst hen over værdifulde enge. Etableringen af værnene skete under store protester fra lodsejere – det var dem, der udførte det møjsommelige arbejde. Christian Hansen Teilmann var dog også herredfoged, så han bestemte. Og sandflugten fra Ringkøbing Fjord blev med tiden dæmpet, og de værdifulde Værnenge opstod.

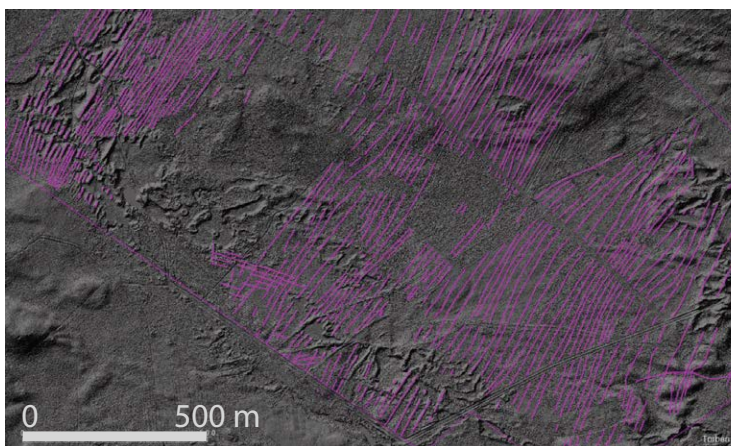
Konkret blev digerene lavet ved at man satte "ris", dvs. grene stukket ned i jorden med for eksempel tang eller grene imellem, eller lagde græstørv, i rækker vinkelret på vindretningen. De opsatte gærder fangede langsomt sand, og når det første, lave dige var dækket af sand, satte man nye ris oveni. Således voksede toppen af diget langsomt som følge af årtiers hårdt arbejde.

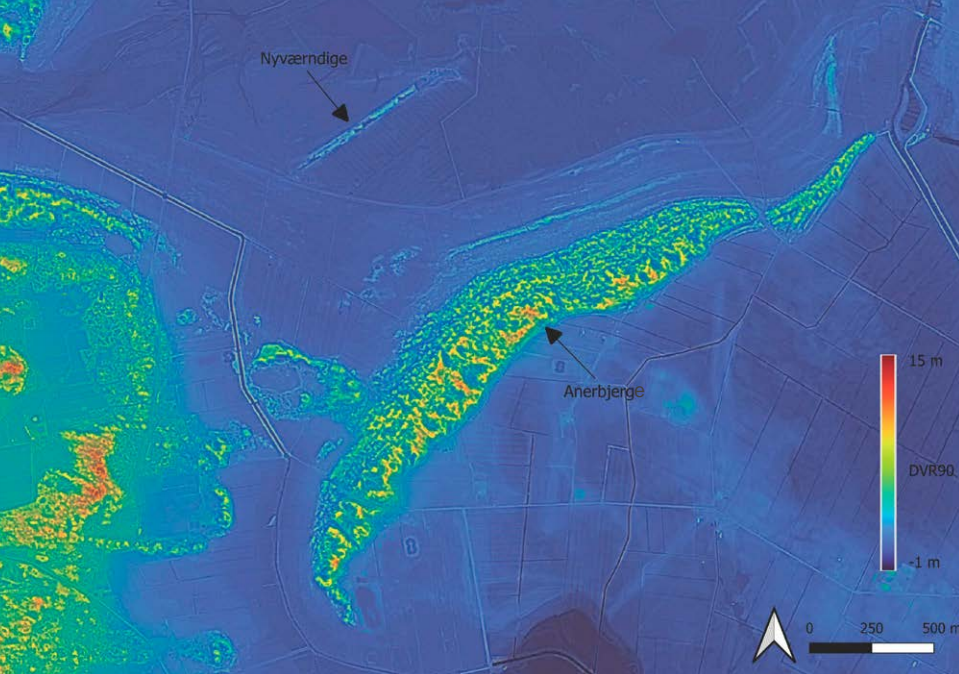


Et snit gennem et lavt sandflugtsdige på Harrild Hede. Her ses, hvordan gråt flyvesand er aflejret oven på den gamle podzol jordbund (ses nederst med et sort morlag umiddelbart over). Lige bag spaden ses mørke striber af morlag, der tolkes som afskårne lyngtørv lagt ovenpå hinanden. Flyvesand er derefter episodisk føjet på, af vind fra venstre imod højre, inden der til slut er opstået en stabil overflade med hedelyng. Foto fra 1973 taget af Kristian Dalsgaard.



Skyggekort med oversigt over Harrild Hede, Midtjylland, hvor de lange, nord-syd gående striber ses som tydelige elementer i landskabet. Nederst er flere end 110 sandflugtsdiger fremhævet med lilla farve. Digitalisering: Torben Egeberg.





Digital højdemodel, der viser sandflugtsdiget Anerbjergene syd for Ringkøbing Fjord. Den kolossale klit er i dag dækket af plantager.

## Hvordan vi vandt over sandflugten

### Årsager til sandflugt i dag og førhen:

- Koldt eller tørt klima, fx den lille istid fra 1300 til 1800-tallet, med koldere og nogle gange meget blæsende vejr.
- Storme, og måske især ekstreme storme.
- Intensiv græsning af husdyr på næringsfattige og sandede arealer samt i eksisterende skove og krat, så opvækst af skov forhindres.
- Fældning af skove og krat på store arealer til brænde, trækul, tømmer og til at bygge gærder med.
- Afbrænding af lyngheder, der førhen skulle sikre bonden vinterfoder til sine husdyr, da det forynger og vedligeholder hedelyng.
- Store mængder sand uden vegetation, fx fra en bred sandstrand, langs et stort vandløb, en gammel klit eller i en tørlagt lagune.
- Helt flade marker, som lige er tromlet.
- Ineffektive teknikker til at dæmpe og forhindre, at sand og muld flyger. Og det i kombination med lokal modvilje imod nye metoder.

### Mange faktorer har løst sandflugtsproblemet:

- Effektive teknikker siden 1700-tallet med tilplantning af især hjælme og marehalm overalt, hvor sand er blottet.
- Udlægning af tang, lyngtørv, grene, eller halm i såkaldte vindbrud, kan hurtigt stoppe kilden til ny sandflugt.
- Introduktion af ikke-hjemmehørende træ- og plantearter, som kan vokse på tør næringsfattig jord, eller spire og gro, selvom sand flyger omkring dem.
- Rejsning af skov, kaldet klitplantager, når sandflugten er dæmpet.
- Øget deposition af næringsstoffer som kvælstof og svovl siden midt i 1900-tallet, som langsomt har skabt mere næringsrig jord også i naturtyper som klitter.
- Ophør af afbrænding af heder.
- Måltrettet plantning af læhegn på udsatte arealer og generelt flere træer i landskabet har skabt mere læ.
- Offentlig økonomisk støtte til, og lovkrav om, at bekæmpe sandflugt ensartet og på tværs af ejendomsgrænser siden 1700-tallet.
- Ophør af tromling af marker i foråret siden 1970-erne samt introduktion af vinter-grønne marker siden 1980-erne.
- Græssende husdyr er forbudt adgang i eksisterende klitter.

## Store og små sandflugtsdiger

De lange striber på både Harrild Hede og syd for Ringkøbing Fjord er altså opstået på denne måde. På Harrild Hede opstod de dog først i 1850-erne, hvor digerene blev etableret for at dæmpe sandflugtsproblemer, der opstod efter en stor hedebrand. I dag er digerene på Harrild Hede 3 til 5 meter høje, og sandet flyger heller ikke her længere.

Den ældste og største af Teilmanns sandflugtsdiger syd for Ringkøbing Fjord hedder nu Anerbjergene. Klitten her er i dag cirka 4 kilometer lang, 350 meter bred, op til 14 meter høj, og den indeholder cirka 2,7 millioner m<sup>3</sup> sand. Den må være fuldstændig menneskeskabt. Til sammenligning er der cirka 1,9 millioner m<sup>3</sup> sand i klitterne på Rubjerg Knude i dag.

Det, som dog virkelig har overrasket, er, hvor udbredte sandflugtsdiger viste sig at være, da vi undersøgte den digitale højdemodel og søgte på de forskellige navne, man har brugt igennem tiden. Klitlandskaberne på Harrild Hede og ved Anerbjergene er nemlig langt fra alene. Sandflugtsdiger viser sig at findes spredt ud over hele landet, men ingen har før koblet dem sammen. De falder overordnet i to typer, nemlig henholdsvis mange, lave diger og få, høje diger. De førstnævnte findes for eksempel ved Harrild og Gludsted Plantager i Midtjylland, mens de sidstnævnte findes mere spredt ud over landet, for eksempel ved Agger, Hulsig, Frøslev, Tibirke og Sandegaard på Vestbornholm. Oversigten er dog næppe endelig og kan indeholde fejl, for ikke meget er skrevet ned om teknikken.

Lokaliteter med sandflugtsdiger har det tilfælles, at sammenhængen mellem striber i landskabet og menneskers forsøg på sandflugtsbekæmpelse næsten er glemt. Måske fordi det i virkeligheden var spildt arbejde? Små og lave klitter kan i hvert fald ikke hindre, at sand fortsat flyger. Her skal også målrettet tilplantning og tildækning til på



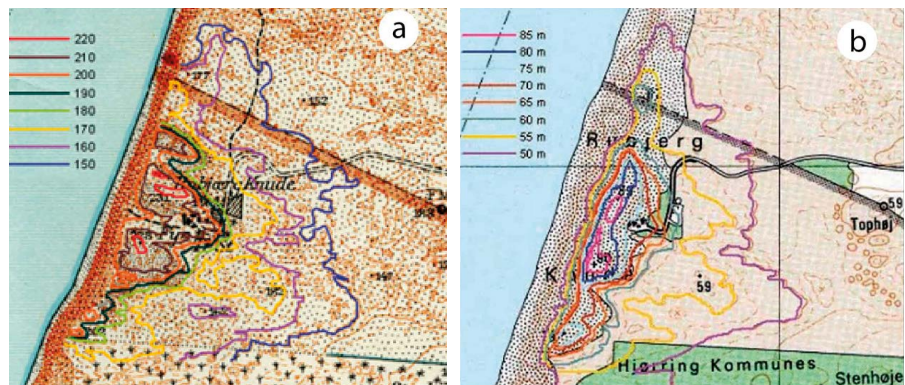
Foto fra Frøslev Plantage med af en af de høje kilometerlange, lige klitter (type 2), og som vi formoder er et helt eller delvist menneskeskabt sandflugtsdige.  
Foto: Søren Munch Kristiansen

de steder, hvor sandet flyver væk fra. At også en lang og høj klit er ineffektiv til at fange sand, er umiddelbart sværere for forstå. Men et kig til Rubjerg Knude i Vendsyssel kan gøre os klogere.

### Kampen vi ikke kan vinde

De seneste 120 år ved Rubjerg Knude er et godt eksempel på, at hvis vi forsøger at dæmpe sandflugt med høje klitter, så taber vi kampen. Den høje sandflugtsklit, som man fra år 1900 til 2010 skabte på toppen af kystklinten her, minder nemlig helt i opbygningen og problemer om tidligere tids Teilmanske sandflugtsdiger. Historien om den illustrerer derfor godt, hvorfor høje klitter er ineffektiv til sandflugtbekæmpelse. Det går langsomt, men ubønhørligt.

Tidligt i 1900-tallet startede man med at sætte granris på forsiden af Rubjerg Knude for at dæmpe sandfygningen. Klitterne på toppen lå dengang cirka 70 meter over havet. Klitten blev også tilplantet med planten hjælme, hvilket var normal praksis dengang. Havets erosion i klintens fod sender dog kontinuerligt nyt sand op på toppen, så granrisene måtte løbende ved-



Rubjerg Knude på topografiske kort. Til venstre ses et kort fra 1875 med linjer der viser højder i fod (0,314 m). Til højre ses den markant højere klit på et kort fra 1975. Omkring år 1900 begyndte man at fange fygesand med gran-ris på klintens top.



Oversigtskort, der med orange prikker viser, hvor der findes kendte og mulige sandflugtsdiger i Danmark. Rubjerg Knude og Raabjerg Mile (blå prikker) er vist som reference.



Foto af store driver af fygesand bag et læhegn, som opstod under en såkaldt påskeøsten-storm i foråret 1969 i Esbjerg-Ribe området. Foto: Kristian Dalsgaard.

ligeholdes. Risene standsede som ønsket sandfygningen mod øst, så klittoppen blev gradvist også højere. I 1970'erne var kystlinjen rykket cirka 100 meter mod øst, men klittens højeste dele nu var cirka 90 meter over havniveau.

Toppen af klitten blev højere, indtil man omkring 2010 opgav det, som i mellemtiden var omdøbt til "naturpleje", altså opsætning af granris. Problemet er, at når en klit bliver højere, vokser vindpresset meget kraftigt på sandkornene på dens top. Så på høje klitter blæser sandkornene væk fra toppen, uanset hvor meget arbejde man lægger i nye granris. Klitten på Rubjerg Knude bevæger sig derfor i dag hastigt mod øst. Der skabes i disse år et nyt og unikt landskab med 1-3 sandmiler, i lighed med Råbjerg Mile, bagved kysten.

### Bedre formidling og mindre bekæmpelse

Natur- og kulturhistorisk er menneskets forsøg på at tæmme naturen med sandflugtsdiger i 1700- og 1800-tallet og de kolossale spor, det har efterladt sig i landskabet – en oplagt historie at formidle. Ikke mindst fordi vi i dag nok vil kalde teknikkerne til sandflugtsbekæmpelse for klimatilpasning. Datidens problemer med flyvesand kan sammenlignes med de udfordringer, vi i dag står overfor ved vores kyster, vandløb og i byer. Nu handler det dog i altovervejende grad om

udfordringer med vand disse steder, da de største problemer med vind og flyvesand er blevet løst (se faktaboks).

Hvorfra Christian Hansen Teilmann i Jylland, og lidt senere Johan Ulrich Røhls på Sjælland, kendte til teknikken med sandflugtsdiger og "sandvexter", ved vi ikke. Begge de to herrer kom fra Nordsøens sydlige kyster, henholdsvis fra Ribe og Oldenburg, så de har nok trukket på endnu ældre erfaringer med tidlige diger i marsklandet, eller fra de lokale bønder.

Kong Christian den 3. udstedte allerede i 1500-tallet bestemmelser til bekæmpelse af sandflugten. Men først i 1792 kom der en effektiv sandflugtslov. Denne, og dens efterfølgere, har gjort, at vi har fået bugt med sandflugten. Ved Råbjerg Mile kan man dog stadig som en turistattraktion opleve et stort område, hvor sandflugtens dynamik udspringer sig, sådan som den i rigt mål gjorde i fortiden.

Manglen på dynamisk sand i vore klitlandskaber medfører både tab og goder. Det er godt for borgere i områder, hvor sandflugt kan hærge. Vi får her ikke længere ødegårde og øde kirker.

Men det betyder også, at det kupe-rede kliterræn, som udgør et økosystem med hårdføre og nøjsomme dyre- og plantearter, er presset. Klit-

landskabet gror til, når vi forhindrer sandkornenes naturlige dynamik, som vedligeholder økosystemet. Sandflugtsbekæmpelse er altså en af mange udfordringer for biodiversiteten i det åbne land, og man kan derfor argumentere for, at flere sandklitter så at sige burde "sættes fri" ved at undlade sandflugtsbekæmpelse.

### Det nådesløse sand

Sandflugt har vi i Danmark haft siden seneste istid. Det meste af tiden er det dog kun ved vestvendte kyster, at sandflugt har givet store problemer for os mennesker. Fra både arkæologiske kilder og historiske overleveringer er det velkendt, at marker og huse fra jernalderen og helt op i historisk tid, er blevet begravet af flyvesand, eller at landbrugsjord er føjet væk. Det har betydet, "folk og fæ måtte gå fra hus og hjem", som det er beskrevet i utallige kirkebøger. Den sidste, store katastrofe med muldflugt, hvor pløjelaget fra landmandens mark fæg væk i et stort område, var under en storm i påsken 1969 i Sydvestjylland.

I dag kan vi måske lære noget af eksemplet med de oversete sandflugtsdiger. For i dele af den lille istid var klimaet virkelig ekstremt, både koldt, blæsende og vådt. Selvom man dengang var inde i oplysningstiden med fokus på teknikker til at underkaste naturen menneskets vilje, så var ikke alle forsøg på datidens "klimatilpasning" vellykkede.

I dag står vi igen et sted i historien, hvor vi kommer til at bruge mange kræfter på klimatilpasninger. Ved især kysterne er det tydeligt, at vores kamp imod det vilde vejr truer de naturlige samspil i de rester af økosystemer som klitter og strandenge, vi har tilbage. Til sammenligning er vi omvendt ved at lære lektionen ved åer og vandløb i forhold til klimatilpasning. Her får vandet i højere grad lov til at opføre sig dynamisk, så det nu igen kan brede sig ud over ådale og andre arealer, når det regner kraftigt. ■

Videre læsning  
Kristiansen, S.M., Egebjerg, T., Nielsen, F.O., Pihl, A., Rasmussen, K.R. & Stott, D. 2023: Sandflugtsdiger – et overset landskabselement fra en tidlig teknik til sandflugtsbekæmpelse. *Geologisk Tidsskrift* 2023, side 29–38.



KØBENHAVNS  
UNIVERSITET

# BLIV KLOGERE SAMMEN

På KU bliver vi klogere i fællesskab. Vælger du en naturvidenskabelig uddannelse, kommer du til at arbejde i studiegrupper helt fra start. Du får hjælp af ældre studerende og vejledere. Og du har undervisere, der brænder for at dele deres viden.

Du slipper ikke for lange dage og hårdt arbejde. Men du lærer at samarbejde, løse problemer med data og matematik og se sammenhænge på tværs af fag. Kompetencer, du kan bruge direkte i mange virksomheder og organisationer, når du skal ud på jobmarkedet.

Søg ind på en naturvidenskabelig uddannelse.  
Ansøgningsfrist 5. juli.

*[studier.ku.dk/science](https://studier.ku.dk/science)*

# DA EUROPA BLEV KOLONISERET

Udsigt over stenbruddet ved Korolevo. Til venstres ses Tiszafloden. Foto: Roman Garba



## Om forfatteren

Mads Faurischou Knudsen er professor ved Institut for Geoscience, Aarhus Universitet. Hans forskning er centreret om Jordens klimasystem samt menneskets tidlige udviklingshistorie. Mads Faurischou Knudsens primære videnskabelige værktøj er kosmogene isotoper, som blandt andet kan bruges til at datere vigtige arkæologiske fund og klimatiske begivenheder i Jordens historie.

I det nye studium omtalt i denne artikel er alderen på stenredskaberne fra Korolevo i det vestlige Ukraine beregnet ved brug af en computermodel, som Mads Faurischou Knudsen har udviklet sammen med en tidligere ph.d.-studerende.

mfk@geo.au.dk

**Dateringer af jordlag med primitive stenredskaber i det vestlige Ukraine viser, at menneskeslægten – sandsynligvis i form af arten *Homo erectus* – var til stede i Europa allerede for 1,4 millioner år siden. Det kaster nyt lys over menneskets kolonisering af det europæiske kontinent.**

**H**vornår kom de første mennesker til Europa, og hvor kom de fra? Svarene på disse spørgsmål har længe stået hen i det dunkle. Men nu har et nyt internationalt studie fra Korolevo i Vestukraine kastet lys over sagen. Studiet, der er publiceret i tidsskriftet *Nature*, viser, at forhistoriske mennesker var til stede i det vestlige Ukraine allerede for 1,4 millioner år siden.

Denne nye viden skyldes, at det er lykkedes os at bestemme alderen på nogle primitive stenredskaber, der er fundet i Vestukraine og som menes at repræsentere et af de ældste spor af *Homo*-slægten i Europa – altså af mennesker, der er nært beslægtet med det moderne menneske *Homo sapiens*. At vi nu har en præcis alder på disse stenredskaber, giver os en bedre forståelse af, hvor de første europæere kom fra og måske også, hvorfor de kom til Europa for 1,4 millioner år siden.

## Stråling fra rummet hjælper forskningen

Sporene efter forhistoriske mennesker ved Korolevo blev først opdaget af den ukrainske arkæolog V.N. Gladilin under udgravningen af et stenbrud i 1974. Her fandt holdet af arkæologer flere lag med forskellige typer stenredskaber, der vidnede om, at der havde været mennesker til stede i området gennem mange hundrede tusinde år. Nederst, begravet under flere lag af flodsedimenter og vindblæst støv, fandt arkæologerne nogle meget primitive stenredskaber, der minder om de første kendte stenredskaber fra Afrika, også kendt som Mode-1 eller "Oldowan"-stenredskaber. Men at datere disse primitive stenredskaber var ikke en let opgave, og de første forsøg på at gøre dette gav modstridende resultater, der var umulige at reproducere.

Netop menneskets tidlige udviklingshistorie har længe været en udfordring for forskere at få styr på, fordi de fleste relevante daterings-

metoder ikke rækker langt nok tilbage i tid. Med carbon-14-metoden er det for eksempel kun muligt at datere organisk materiale, der er yngre end cirka 50.000 år. Og med den såkaldte luminiscens-metode, der kan bestemme, hvornår et sediment sidst har været udsat for lys, kan man typisk nå cirka 300.000 år tilbage i tiden.

Men igennem de seneste 10-15 år er der udviklet en ny metode, der gør det muligt at datere sediment og stenredskaber, der er op til 5 millioner år gamle. Denne metode benytter isotoper af beryllium og aluminium, som dannes, når kosmisk stråling bombarderer geologiske materialer ved Jordens overflade.

Det er denne metode, vi har brugt i det nye studium til at datere det lag, der indeholder de gamle stenredskaber. Til dateringen brugte vi en computermodel (P-PINI), der er udviklet ved Institut for Geoscience på Aarhus Universitet. Når vi fodrer





Figur efter Garba, R. et al (2024). Kort: Shutterstock.

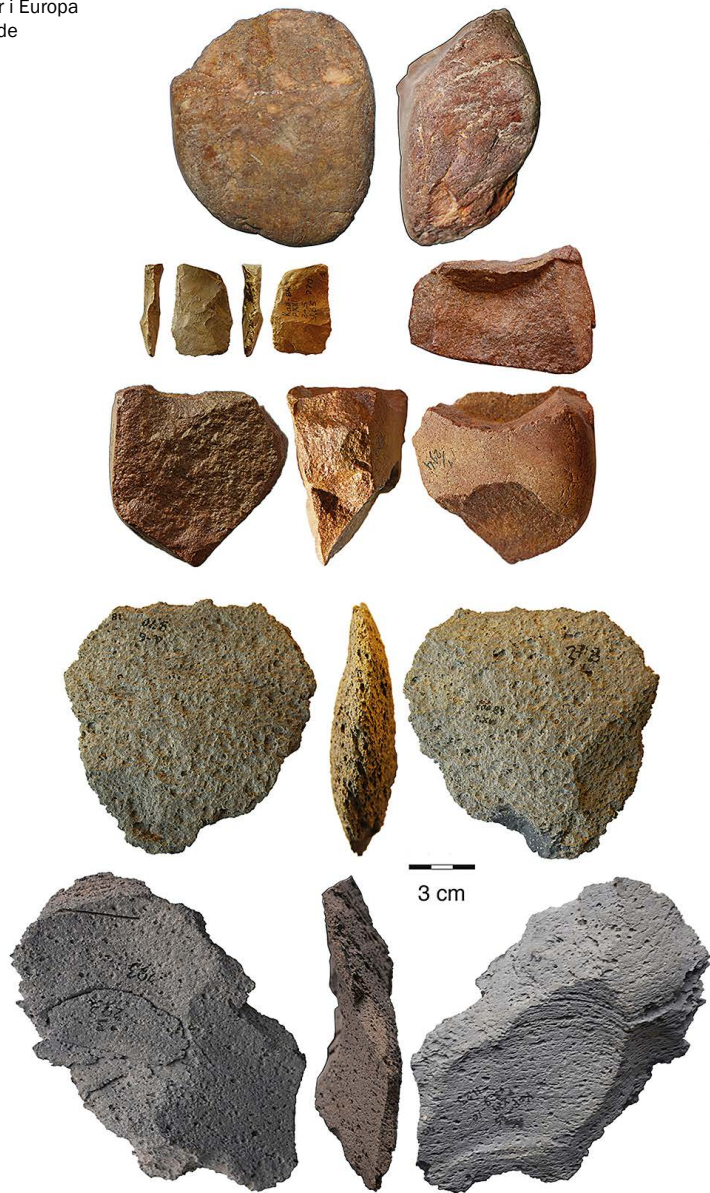
Kortet viser de kendte arkæologiske lokaliteter i Europa med de ældste fund af spor af mennesker og de sandsynlige indvandringsruter fra Afrika. Alder er angivet i mio. år.

computermodellen med data om indholdet af isotoper (mere konkret  $^{10}\text{Be}$  og  $^{26}\text{Al}$ ) i laget med stenredskaber, giver det en alder på 1,42 +/- 0,10 millioner år.

### Den klimatiske flaskehals

En udbredt hypotese går på, at mennesket først koloniserede Europa for 0,9 millioner år siden, hvor istiderne og mellemistiderne blev længere og kraftigere – en overgang der på fagsproget kaldes den Midt-Pleistocæne Revolution. På dette tidspunkt skiftede rytmen mellem istider og mellemistider fra en cyklus på cirka 41.000 år til en cyklus på cirka 100.000 år.

De korte mellemistider før dette skift har været betragtet som en flaskehals for koloniseringen af Europa, fordi de varme perioder var for korte og klimaet for koldt og tørt. Hypotesen var derfor, at mennesket først befolkede Sydeuropa sammen med store planteædende dyr fra Asien og Afrika, da klimaet blev for tørt der, mens det blev varmere og fugtigere



Udvalgte eksempler på stenredskaber fra Korolevo fundet i det lag (lag VII), som nu er blevet bestemt til at være 1,42 +/- 0,10 millioner år gammelt. Disse stenredskaber minder om de første kendte stenredskaber fra Afrika, også kendt som Mode-1 eller "Oldowan"-stenredskaber. Figur efter Garba, R. et al (2024).

## Datering med kosmogene isotoper

Kosmogene isotoper dannes, når kosmisk stråling bombarderer geologiske materialer ved Jordens overflade. Den kosmiske stråling består af partikler (hovedsageligt protoner og alfapartikler), der slynges ud i rummet, når en stjerne eksploderer i en såkaldt supernova. Når den kosmiske stråling trænger ind i Jordens atmosfære, støder den sammen med oxygen- og nitrogenmolekyler, hvilket skaber en sekundær kaskade af partikler, herunder neutroner og muoner med meget høj energi. Disse neutroner og muoner fortsætter mod Jordens overflade, og når de trænger ind i mineraler og bjergarter, dannes der nogle meget sjældne isotoper – de såkaldte kosmogene isotoper. Ved at måle koncentrationen af kosmogene isotoper i et mineral, er det muligt at bestemme, hvor lang tid bjergarten har været eksponeret ved Jordens overflade. Typisk måler man forekomsten af den kosmogene isotop beryllium-10 ( $^{10}\text{Be}$ ) i mineralet kvarts, fordi produktionsraten af  $^{10}\text{Be}$  i kvarts er velbestemt, og fordi  $^{10}\text{Be}$  kun dannes på denne måde i geologiske materialer.

Man kan også bruge kosmogene isotoper til at datere, hvornår et geologisk materiale sidst blev afskærmet fra stråling ved overfladen, fordi der har lagt sig nye materialer ovenpå såsom iskapper eller sedimenter. Til det formål indsamler man typisk en prøve, der er begravet under overliggende sedimenter. Derefter udnytter man de kendsgerninger, at:

- 1) produktionsforholdet mellem to forskellige kosmogene isotoper er kendt, 2) produktionen af kosmogene isotoper stopper, når prøve-materialet dækkes til, samt at 3) koncentrationerne falder over tid, fordi isotoperne er radioaktive.

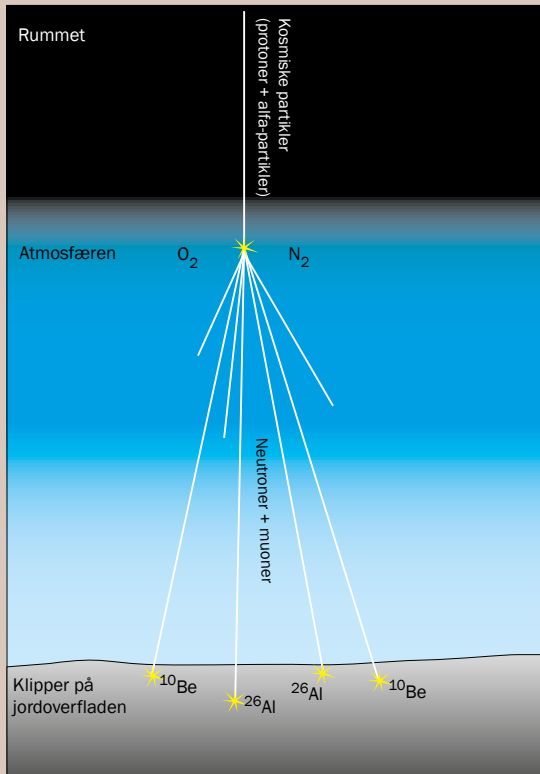
Ved at måle forholdet mellem to kosmogene isotoper med forskellige henfaldstider kan man derfor i princippet "måle" den tid, der er gået, siden prøven blev afskærmet fra strålingen ved overfladen. I denne forbindelse måler man typisk koncentrationen af  $^{10}\text{Be}$  og  $^{26}\text{Al}$  (også i kvarts), som har halveringstider på henholdsvis 1,4 ( $^{10}\text{Be}$ ) og 0,7 ( $^{26}\text{Al}$ ) millioner år. Det er denne anvendelse af kosmogene isotoper, der har åbnet nye muligheder for at datere menneskets tidlige udviklingshistorie.

i Europa, hvilket gjorde at mennesker og dyr søgte nye græsgange mod nord. De hidtil ældste spor af mennesker i Europa fra Spanien og Sydfrankrig er dateret til cirka 1,1 millioner år, men denne alder er forbundet med stor usikkerhed, og det er uklart, om disse spor af mennesker i virkeligheden er ældre

eller yngre end den Midt-Pleistocene Revolution. Sporene fra Spanien har også affødt den hypotese, at Europa blev koloniseret fra syd hen over Gibraltarstrædet, men mange regner det for usandsynligt, fordi det har været tæt på umuligt for disse forhistoriske mennesker at krydse strædet mellem Afrika og Spanien.

Problemet er bare, at der har manglet spor efter forhistoriske mennesker andre steder i Europa, der er ældre end dem fra Spanien.

Den nye alder fra Korolevo på 1,42 +/- 0,10 millioner år viser dermed for første gang utvetydigt, at mennesket var til stede i Europa før denne



Datering med kosmogene isotoper er et relativt nyt værktøj, og metoden til at datere begravede sedimenter er ikke mere end 10-15 år gammel. Metoden er derfor stadig under udvikling, fordi flere faktorer bevirker, at det ikke er nok at kende forholdet mellem  $^{10}\text{Be}$  og  $^{26}\text{Al}$  i en prøve til at datere den. Vi ved for eksempel ikke, hvor prøverne kom fra, før de blev begravet, og vi ved heller ikke, hvor hurtigt de blev begravet. Disse faktorer påvirker forholdet mellem  $^{10}\text{Be}$  og  $^{26}\text{Al}$  og dermed den alder, man beregner.

Ved Institut for Geoscience på Aarhus Universitet har vi udviklet en probabilistisk model, der tager højde for disse udfordringer ved at simulere millioner af mulige scenarier for prøvernes historie før og efter, de blev begravet. Modellen hedder P-PINI (Particle Pathway Inversion of Nuclide Inventories), og det er denne model, vi har anvendt til at datere stenredskaberne fra Korolevo i det vestlige Ukraine.



Fotos: Aarhus Universitet.

påståede flaskehals for 0,9 million år siden.

Faktisk viser nye modelstudier af klima- og vegetationsændringer over de sidste 2 millioner år, at der var tre kortvarige varmeperioder i Europa for cirka 1,4 millioner år siden, hvor forholdene var gunstige for mennesket. Det er således overvejende sandsynligt, at mennesket udnyttede en af disse korte perioder til at migrere mod nordligere breddegrader. Korolevo repræsenterer faktisk det nordligste spor af forhistoriske mennesker, der med sikkerhed er ældre end 1 million år.

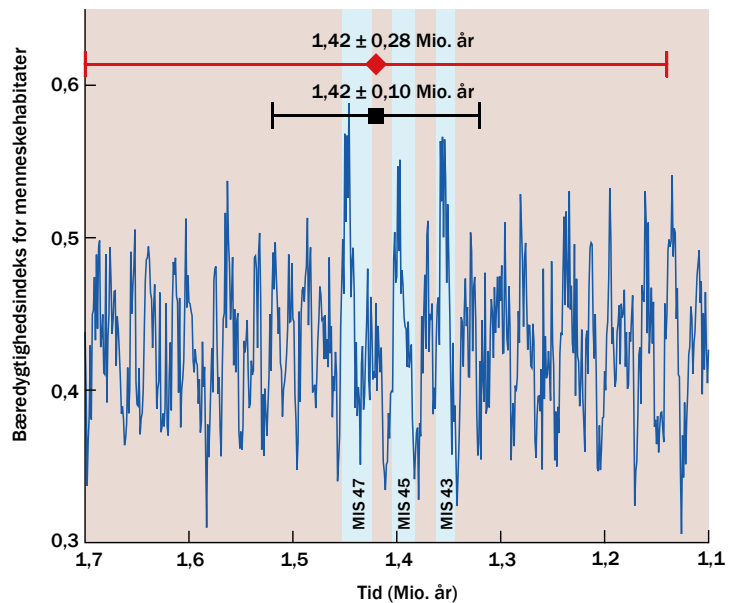
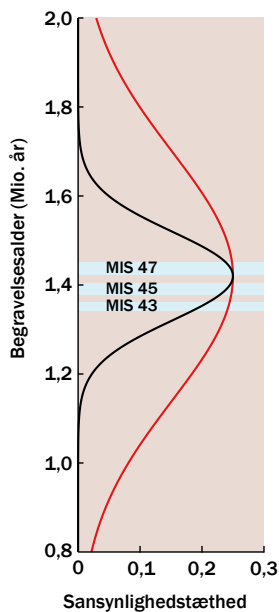
### De første europæere var sandsynligvis *Homo erectus*

Hvem var så disse tidlige mennesker, og hvor kom de fra? Fraværet af knoglerester ved Korolevo gør, at vi ikke med sikkerhed kan sige, hvem disse første europæere var. Stenredskaberne er imidlertid for primitive til at være produceret af *Homo sapiens* eller neanderthalere. Derfor var "værktøjsmagerne" sandsynligvis en eller anden va-

Ved Institut for Geoscience på Aarhus Universitet har vi laboratorie-faciliteter til at forbehandle prøver til datering med kosmogene isotoper. Når koncentrationerne af  $^{10}\text{Be}$  og  $^{26}\text{Al}$  efterfølgende skal måles, foregår det ved hjælp af accelerator-massespektrometri ved The Aarhus AMS Centre (AARAMS) på Institut for Fysik og Astronomi. Prøverne fra Korolevo er dog ikke forbehandlet og analyseret i Aarhus, men ved Dresden AMS-laboratoriet (DREAMS) i Tyskland.



Stenredskab fundet på jordoverfladen ved Korolevo, som sandsynligvis stammer fra det lag (lag VII), hvor arkæologerne har fundet såkaldte Mode-1- (eller Oldowan-) stenredskaber.  
Foto: Roman Garba



Grafen til venstre viser sandsynlighedsfordelinger for alderen på de primitive "Mode-1"-stenredskaber fra Korolevo i Vestukraine. De to kurver repræsenterer to forskellige modeller – nemlig den traditionelle model kaldet isochron-metoden (rød) og P-PINI (sort), som er den model, vi har udviklet ved Institut for Geoscience.

Enheden på 1.-aksen (sandsynlighedstæthed) er et mål for de angivne aldres sandsynlighed, og det fremgår, at begge modeller har toppunkt ved 1,4 millioner år, men P-PINI indrammer denne alder med større præcision. De tre blå linjer kaldet (MIS 43, 45 og 47) repræsenterer tre korte mellemistider.

På figuren til højre viser den blå kurve et bæredygtighedsindex, dvs. hvor velegnet det klimatiske miljø har været for *Homo erectus* ved Korolevo i perioden for mellem 1,7 og 1,1 millioner år siden.

Det fremgår, at de tre højeste punkter er sammenfaldende med de tre førnævnte mellemistider, og at de tidsmæssigt ligger netop inden for det dateringsinterval, som det nye studium er nået frem til. Dermed er det sandsynligt, at *Homo erectus* indvandrede til Europa i en af disse korte mellemistider.

Figur efter Garba et al (2024).

#### Videre læsning:

Den videnskabelige artikel i *Nature*: GR. Garba, V. Usyk, L. Ylä-Mella, J. Kameník, K. Stübner, J. Lachner, G. Rugel, F. Veselovský, N. Gerasimenko, A. I. R. Herries, J. Kučera, M. F. Knudsen & J. D. Jansen. East-to-west human dispersal into Europe 1.4-million-years-ago. *Nature* 627 (2024). DOI: 10.1038/s41586-024-07151-3.

riant af arten *Homo erectus* (fra latin "det oprejste menneske"), en fjern, men bemærkelsesværdig succesfuld, forfader til det moderne menneske.

*Homo erectus* opstod i Afrika for cirka 2 millioner år siden, og arten bredte sig efterfølgende ud over store dele af det sydlige Asien og Europa. Vi ved for eksempel, at *Homo erectus* var til stede ved Dmanisi i det sydlige Kaukasus for 1,8 millioner år siden. Her har man også fundet primitive stenredskaber, der minder om dem, der er fundet ved Korolevo i Vestukraine. Vores nye datering af lagene med stenredskaber i Vestukraine bygger derfor en bro mellem fundene i Kaukasus og Spanien, som begraver hypotesen om, at

disse forhistoriske mennesker skulle være kommet til Europa via Gibraltarstrædet. Det er langt mere sandsynligt, at Europa først blev koloniseret fra øst eller sydøst, enten via Tyrkiet og Donau-korridoren eller via Kaukasus og nord om Sortehavet.

Det mest sandsynlige scenarie er, at disse tidlige mennesker migrerede ud af Afrika gennem Levanten, hvor man i Jordan har fundet Mode-1-stenredskaber, der er op til 2,5 millioner år gamle, og nåede Kaukasus for 1,8 millioner år siden. Det sydlige Kaukasus har muligvis fungeret som en slags refugium, hvorfra disse tidlige mennesker har migreret ud i verden, da klimaet blev varmere, og vegetationen ændrede sig.

#### Nye metoder driver vores viden frem

Selvom vi nu har en mere sandsynlig hypotese for, hvordan og hvornår de første mennesker kom til Europa, er det vigtigt at understrege, at også denne fortælling er behæftet med megen usikkerhed, fordi den bygger på små sporadiske glimt af viden.

Men fordi vores værktøjskasse hele tiden udvider sig – som det har været tilfældet her med datering ved hjælp af kosmogene isotoper – vil vores viden helt sikkert blive øget. Udviklingen indenfor studier af palæo-DNA og palæo-proteiner vil således potentielt gøre det muligt at fastslå, hvordan forskellige menneskearter er forbundne, og hvornår de befolkede forskellige dele af Jorden ■

# SubUniversity

GIV DINE ELEVER EN MENTOR  
OG LAD DEM OPLEVE  
UNIVERSITETET INDEFRA

## LAD DINE ELEVER BLIVE KLOGERE PÅ LIVET SOM STUDERENDE MED EN UNIVERSITETSSTUDERENDE SOM MENTOR

### DET SIGER ELEVERNE OM SUBUNIVERSITY

**95 % af eleverne ville anbefale SubUniversity**

**88% føler sig mere afklaret i forhold til at skulle  
træffe et studievalg**

“Det har givet mig mere blod på tanden til at læse på universitetet, og jeg er blevet mere afklaret med, hvad der er noget for mig”

“Jeg ved hvilken retning jeg vil gå i nu, og mine mentorer har været vildt gode til at vise, hvordan en hverdag er når man er studerende”

“Jeg har set, at universitetet slet ikke er så skræmmende, som jeg troede”

### DET FÅR DINE ELEVER UD AF AT DELTA GE

SubUniversity er et tilbud til gymnasieskoler, der giver udvalgte elever mulighed for at møde det faglige og sociale liv på Aarhus Universitet.

Gymnasieeleverne inddeles i grupper efter faglig interesse og får tilknyttet to universitetsstuderende som mentorer, som de får mulighed for at komme helt tæt på gennem forløbet.

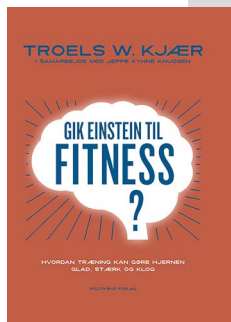
Gymnasieeleverne får på den måde mulighed for at opleve universitetet indefra, så de bedre vil kunne træffe et studievalg og komme godt på vej til næste uddannelsestrin.

Et forløb strækker sig over halvandet skoleår, fra eleverne udvælges i slutningen af 1. g til slutningen af 2. g.

### KONTAKT

Du kan læse mere om SubUniversity på [au.dk/subuniversity](https://au.dk/subuniversity)  
eller kontakte projektlederne Laura Munk Petersen og Gitte Heide på [subuniversity@au.dk](mailto:subuniversity@au.dk)





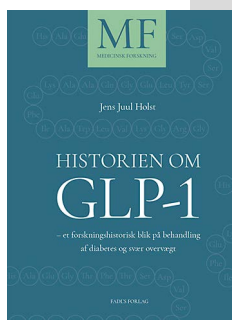
**F A K T A**

Troels W. Kjær i samarbejde med Jeppe Kyhne Knudsen: *Gik Einstein til fitness?* Politikens forlag 2024. 224 sider, 270 kr.

**Gik Einstein til fitness?**

I de senere år har hjerneforskningen vist, at hjernen i allerhøjeste grad påvirkes af motion. Selv en gåtur kan medvirke til at holde hjernen skarp, og det er slået fast, at visse former for træning giver bedre hukommelse, koncentration og højere intelligens. Oveni det er træning med til at bekæmpe depression, stress og tristhed. Og ser vi lidt på resultaterne fra verdens førende hjerneforskere, kan vi sige hvorfor. Vores hjerne forandrer sig, når vi træner. Dele af den vokser, mens andre skrumper.

I *Gik Einstein til fitness?* præsenterer hjerneforsker Troels W. Kjær den nyeste forskning indenfor, hvordan fysisk træning påvirker hjernen, og guider dig til blandt andet at holde hjernen skarp.



**F A K T A**

Jens Juul Holst: *Historien om GLP-1. FADL's forlag 2024.* 349,95 kr.

**Historien om GLP-1**

Novo Nordisk's blockbuster-lægemidler Wegovy og Ozempic bygger på opdagelsen af hormonet GLP-1 i 1980'erne. Denne bog er en førstehåndsberetning fra en af de centrale forskere bag dette gennembrud, Jens Juul Holst. Bogen handler om opdagelsen af GLP-1 og den videre forskningshistorie og hormonets plads i samfundet fremadrettet.

Det er en bog, der er rettet mod forskningsinteresserede og er en omfattende gennemgang af jagten på det hormon, som i dag betegner et paradigmeskifte i behandlingen af diabetes og svær overvægt.

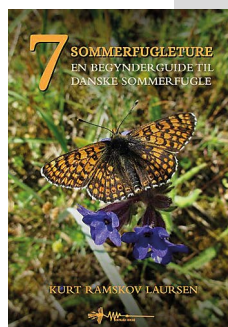


**F A K T A**

Karl Anker Jørgensen: *Livets naturlige drejning.* I bogserien ScienceFaction. Aarhus Universitetsforlag 2024. 96 sider, 149,95 kr.

**Livets naturlige drejning**

I denne bog fortæller kemiprofessor Karl Anker Jørgensen om livets drejning, og hvilken betydning det har for eksempel udvikling af medicin. Mennesket er et asymmetrisk væsen, og det kan vi takke molekylerne for. Ligesom sneglens hus, vinkekrabbenes kløer og narhvalens tand kan molekyler være uden symmetri. Spejlvendte molekyler forfører vores asymmetriske sanser med umami, mynte og parfume. De tjener os med antidepressive midler, hovedpinepiller og en grønnere kemi. Hvis vi vel at mærke formår at dreje dem den rigtige vej. For skruer vi dem forkert sammen, kan det føre til fatale medicinske skandaler. Livet har en naturlig drejning, men ingen ved præcis hvorfor. Måske svæver forklaringen i et spejlvendt univers.



**F A K T A**

Kurt Ramskov Madsen. *Syv sommerfugleture – en begynderguide til danske sommerfugle.* Wadskjærs forlag 2024. 160 sider, 299,95 kr.

**Syv sommerfugleture**

Danmark rummer omkring 50 almindelige sommerfuglearter, der kan ses om dagen – arter som skovrandøje, kejserkåbe og tidselsommerfugl. På syv ture til forskellige naturtyper og på forskellige tidspunkter i sommerhalvåret giver denne bog en guide til at opleve alle de almindelige danske sommerfugle. Du får vejledning til, hvor du skal kigge efter arterne, og hvordan du kan genkende arterne. Turene vil give dig et godt indblik i de danske sommerfugles skønhed og levevis. Bogen kræver ingen forhåndsviden og giver dig de nødvendige praktiske råd, så du får størst muligt udbytte af turene.



## Undervisningsmaterialer

Du kan finde ekstramateriale på [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk), som er beregnet på undervisningen i gymnasieskolen.

### Undervisningsmateriale til økologi om symbiose, N-kredsløb og bæredygtighed

Materialet tager udgangspunkt i artiklen *Forskning baner vejen for selv-gødende planter til landbruget* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 1/2024.

Artiklen kan indgå i et økologiforløb og medvirke til at dække læreplanernes krav om eksempler på samspil mellem arter og mellem arter og deres omgivende miljø. Artiklen vil desuden kunne bidrage til at dække det supplerende stof indenfor områder som biologisk produktion og bæredygtighed.

Artiklen kræver kendskab til almindelige vækstkrav for levende organismer. Som en del af materialet findes en vejledning til dyrkning af Rhizobium-bakterier og lucerne-planter for at undersøge deres symbiose.

Fag: Biologi A, Bioteknologi A

### Undervisningsmateriale om celler og celleyklus

Undervisningsmaterialet bygger på artiklen *Historien om historien om celledeling* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 6/2023.

Artiklen kræver kendskab til eukaryote cellers opbygning og faserne i en celleyklus. Det er en fordel at kende til det centrale dogme i biologi. Artiklen kan både indgå i et basisforløb om celler og celledelinger, men for eksempel også i forløb om genregulering, epigenetik og/eller kræft.

Fag: Biologi A, Bioteknologi A

Materialet er udarbejdet af Lone Als Egebo, Ege-bøger.

### Nye quizzer

Prøv den nye quiz til artiklen om selv-gødende planter til landbruget. Du finder den sammen med mange andre quizzer på Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside.

## ABONNEMENTS-SERVICE

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

Kontakt os på telefon:  
3036 0662 / 3715 2094  
E-mail: [abo@aktuelnaturvidenskab.dk](mailto:abo@aktuelnaturvidenskab.dk)

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

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

### Til nye abonnenter:

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

## OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

### Styregruppe

- Astrid C. Johansen, kommunikationskonsulent Roskilde Universitet
- Birgitte Lyhne Broksø, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Mikkel Linnemann Johansson, teamleder, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Poul Nissen, prodekan, 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: 4.300

### Redaktionsgruppe

- Astrid C. Johansen, Roskilde Universitet
- Birgitte Svennevig, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Carsten Rabæk Kjær, Aktuel Naturvidenskab
- Jørgen Dahlgaard, Aktuel Naturvidenskab
- Michael Skov Jensen, Københavns Universitet

### Redaktion:

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

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

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

### Postadresse:

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

### Omlagsfoto:

Molerprofil i en gammel lergrav på Fur.  
Foto: Colourbox



Al henvendelse til:  
 Aktuel Naturvidenskab,  
 Ny Munkegade 126, 8000 Aarhus C  
 E: [abo@aktuelnaturvidenskab.dk](mailto:abo@aktuelnaturvidenskab.dk)  
 T: 87152094

# 25 år med Aktuel Naturvidenskab

Af Carsten R. Kjaer og Jørgen Dahlgaard, Aktuel Naturvidenskab

Den 20. april 1999 – altså for meget tæt på 25 år siden – blev det allerførste nummer af Aktuel Naturvidenskab leveret fra trykkeriet. Med andre ord kan vi fejre Aktuel Naturvidenskabs 25-årsjubilmæum her i år 2024, og netop det nummer, du sidder med her, er det tætteste vi kan komme på et egentligt jubilæumsnummer. Det ville du næppe have opdaget, hvis ikke du havde læst disse ord, for dette nummer adskiller sig ikke fra alle mulige andre numre, vi har lavet. Men en bagsideartikel fortjener begivenheden trods alt – ligesom vi pønser på at bringe nogle artikler i kommende numre i 2024, der er deklareret som jubilæumsartikler. Så *stay tuned*, som man siger på nudansk!

## Og prisen går til....

De 25 år med Aktuel Naturvidenskab har foreløbig udmøntet sig i 142 numre, inklusive det nummer, du sidder med i hånden. Og en hurtig søgning i vores artikellarkiv (som i parentes bemærket er frit tilgængeligt på vores hjemmeside) viser, at vi i runde tal har publiceret godt 1600 artikler. Hertil kommer så et mindst lige så stort antal korte nyheder.

Flere end 1600 forskellige forfattere – flertallet forskere – har bidraget med artikler. Skulle vi uddele en formidlingspris til en af dem, ville det være svært at komme uden om professor Kaj Sand-Jensen fra Københavns Universitet. Mindst 45 artikler, synspunkter og boganmeldelser har han skrevet eller været medforfatter på, og det gør ham ubestridt til den forsker, der har bidraget mest til Aktuel Naturvidenskab gennem tiden.

Vi har ikke data til at kunne udpege et “mest læste” nummer af bladet, men et godt bud kunne være nummer 3/2006, der havde temaet *Naturvidenskabens 10 største erkendelser*. Temaet var et bud på en “naturvidenskabelig kanon” (altså ikke et skydevåben!), som vi lavede som et svar på datidens debat om en dansk kulturkanon. Pointen var (og er stadig), at det er mindst lige så vigtigt at kende de vigtigste naturvidenskabelige erkendelser, som det er at kende til for eksempel HC Andersen. På grund af temaets tidløshed bliver artiklerne stadig læst den dag i dag.

## Længe leve videnskabsformidlingen

I det hele taget afspejler et blik på den helt aktuelle webstatistik, at artiklerne ofte er langtidsholdbare. For eksempel er det tankevækkende, at mange mennesker åbenbart flere år efter Covid-19-pan-



demien stadig synes, det er så interessant at læse om, hvordan man tester for Covid-19, at en artikel om netop det emne i skrivende stund er den 3. mest læste i 2024.

Og så synes vi også, at det er interessant, at en dygtig gymnasieelev tilbage i 2020 kunne omskrive sit studieretningsprojekt (SRP) om kokainafhængighed til en fin artikel i Aktuel Naturvidenskab, som hvert år lige siden har været blandt de mest læste på hjemmesiden.

I en tid, hvor nyhedsformidlingen generelt er gået mod “kortere, hurtigere og mere” er det rart at vide, at seriøs videnskabsformidling helt uden click baits kan leve både længe og godt. ■