

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI  
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL  
*natur* VIDENSKAB



**METEORKRATER  
I GRØNLAND KAN  
FORTÆLLE OM KLIMA**

Dybe rødder og kulstoflagring

H.C. Ørstedjubilæum 2020:

Ørsted og elektromagnetismen

Ørsted og folkeoplysningen

NR. 4 - 2020 SEPTEMBER: 50 KR.



Foto: NASA/Bill Ingalls.

## Naturvidenskab til hjernen

Foredragsrækken Offentlige foredrag i Naturvidenskab, der live-streames til lokationer over hele landet, byder i efterårssæsonen på seks foredrag om alt fra Rumrejser (6. oktober) til Grønlands indlandsis (18. november). Se programmet på ofn.au.dk

Også den landsdækkende forening Ungdommens Naturvidenskabelige Forening (UNF) byder på en række foredrag i efteråret. For eksempel kan du opleve foredragene: *Hvad er der mellem galakserne?* 23. september i København og *Det medfødte immunsvær* 12. november i Odense. Tjek programmet ud på unf.dk.

## Øjenbevægelser afslører fake news

Forskere fra Københavns Universitet og Aalborg Universitet har ved hjælp af såkaldt eye tracking på 55 forsøgspersoner vist, at de brugte kortere tid på at kigge på falske overskrifter end på ægte. De 55 forsøgspersoner blev præsenteret for i alt 108 nyhedsoverskrifter, hvoraf en tredjedel var falske. Personerne vidste ikke, at der var manipuleret med nogle af overskrifterne – de blev bare bedt om at vurdere, hvilke der var nyest. Forskerne har brugt resultaterne til at lave en algoritme, som kan forudsige, hvorvidt en nyhedsoverskrift er falsk ud fra øjenbevægelser.

Kilde: [science.ku.dk](https://science.ku.dk), [doi.org/10.1145/3397271.3401221](https://doi.org/10.1145/3397271.3401221)



Foto: NOAA

## Satellit finder pingviner

Ved at lede efter mørke pletter af pingvin-bæ på isen i Antarktis ved hjælp af det europæiske rumagenturs satellit Sentinel-2 har britiske forskere opdaget otte nye kolonier af Kejserringpingviner i Antarktis. Dermed findes der nu 61 kendte kolonier, og populationen af kejserringpingviner er med et slag øget med 5-10 %.

Kilde: *Remote Sens. Ecol. Conserv.* (2020)

## Quiz

Hvorfor vil det være meget interessant, hvis det viser sig, at Hiawatha-meteorkrateret i Grønland kun er 12.800 år gammelt?

- Fordi det i så fald vil være det yngste meteorkrater på Jorden.
- Fordi meteornedslaget i så fald kan være en god forklaring på de klimaændringer, der skete på det tidspunkt.
- Fordi man i så fald har bevist, at såkaldt argon-argondatering, kan bruges på kratere, der ikke er flere millioner år gamle.

Se svaret i artiklen side 26 samt hele quizen på hjemmesiden.



Foto: Troels Pank Arbøll.

## Mysteriet om de døde pindsvin

Bestanden af pindsvin er i tilbagegang. Robotplæneklippere, som kører om natten, mistænkes for at være skyld i mange pindsvins død. Men er der hold i mistanken? Det vil ph.d. og pindsvineforsker Sophie Lund Rasmussen nu undersøge. Til september starter hun som postdoc ved Aalborg Universitet, hvor hun fortsætter sin forskning i Det Danske Pindsvineprojekt. Når resultaterne foreligger – formentlig i slutningen af året – kommer Sophie Lund Rasmussen også til at samarbejde med producenter om at lave mere pindsvine-venlige robotplæneklippere.

Kilde: AAU



## Vidste du?

...at vi i år udover 200-året for H.C.

Ørsteds opdagelse af elektromagnetismen også kan fejre 100-års jubilæum

for en anden stor videnskabspersonlighed, nemlig August Krogh, som i 1920 modtog en nobelpris i fysiologi/medicin for sin opdagelse af den "kapillærmotoriske reguleringsmekanisme".

## En ulykke kommer sjældent alene

I august 2009 blev Taiwan ramt af tyfonen Morakat, som medførte voldsom erosion og jordskred på grund af de enorme regnmængder, der faldt. Et internationalt forskerhold har nu fundet, at den kraftige erosion også midlertidigt ændrede jordskælvsaktiviteten i område. Forskerne fandt således, at der i en 2,5 års periode efter tyfonen optrådte signifikant flere småjordskælv og jordskælv i lav dybde, og at den øgede aktivitet kun fandt sted i de områder, der var kraftigt præget af erosion.

*Scientific Reports*; DOI: [10.1038/s41598-020-67865-y](https://doi.org/10.1038/s41598-020-67865-y)

# indhold



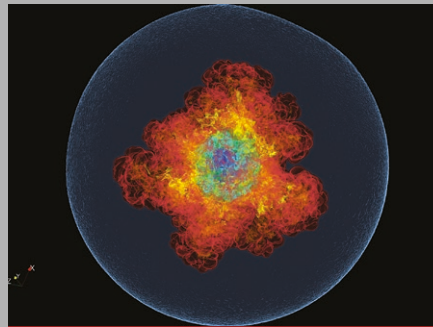
Afgrøder med dybe rødder kan hente både vand og næring i dybere jordlag, og flere afgrøder med dybe rødder i landbrugsproduktionen kan derfor hjælpe med at udnytte ressourcerne bedre. Forskere har udviklet helt nye faciliteter til at studere dybe rødder.

12



Danske forskere vil bestemme den præcise alder på Hiawathakrateret i Grønland, som kan være verdens yngste, store meteorkrater. Det vil kunne give ny og vigtig viden om, hvordan meteornedslag har påvirket Jordens klima i forhistorien.

26



Opdagelsen af, at en "forbudt" kernefysisk proces med uventet effektivitet kan transformere grundstoffet neon til fluor, hjælper os med at forstå hvilken skæbne der venter de middeltunge stjerner i vores Galakse.

21



Elektromagnetismen blev opdaget af den danske videnskabsmand H.C. Ørsted i foråret 1820. Opdagelsen åbnede et helt nyt felt inden for fysikken, som blev udforsket både eksperimentelt og teoretisk. Der gik over et halvt århundrede, inden fysikerne for alvor forstod fænomenet.

34

## FORSKNING OG NYHEDER

- 2 Noter
- 4 Kort nyt
- 8 Da stormene fik fat i Danmark
- 12 Dybe rødder – et spadestik tættere på bæredygtig produktion?
- 17 Kulstoflagring ved hjælp af dybe rødder
- 21 At eksplodere eller at implodere?
- 26 Meteorkrater i Grønland kan fortælle om klima

## PERSPEKTIV

- 34 Elektromagnetismen - opdagelse og udforskning
- 40 H.C. Ørsted og dansk folkeoplysning
- 32 SERVICE
- 44 BAGSIDEN: Find en sø

## AKTUEL NATURVIDENSKAB

### Udgiver

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

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

### Ansvarshavende

Søren Rud Keiding, direktør for AIAS (Aarhus Institute of Advanced Studies), Aarhus Universitet.

### Redaktion

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

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



AALBORG UNIVERSITET



AARHUS UNIVERSITET



KØBENHAVNS UNIVERSITET  
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET



DET NATURVIDENSKABELIGE FAKULTET



DET TEKNISKE FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-  
ABONNENTER



# Fra skorpiongift til hjertemedicin

**S**langer, edderkopper og skorpioner kan være ekstremt giftige, og man skal absolut ikke ønske sig at blive bidt af dem. Men hvis man isolerer de enkelte bestanddele af sådanne ekstreme gifte, viser det sig, at specifikke molekyler fra disse gifte faktisk kan have direkte gavnlige effekt.

Det gælder for eksempel det lille peptid KPP, som er en del af giften fra den brasilianske gule skorpion (*Tityus serrulatus*), der anses for at være en af de farligste skorpioner i Sydamerika.



Giften fra den brasilianske gule skorpion (*Tityus serrulatus*) indeholder komponenter, der potentielt kan bruges som hjertemedicin. Foto: José Roberto Peruca/CC BY 2.0

Forskere har tidligere vist, at KPP kan få rotters blodårer til at udvide sig og deres blodtryk til at falde. Hvordan det helt præcist foregår, har imidlertid været usikkert indtil nu.

Et nyt studie med deltagelse af blandt andet professor Frank Kjeldsen og videnskabelig assistent Vladimir Gorskov fra Institut for

Biokemi og Molekylær Biologi på SDU kan nu afsløre dette. Hovedforfatter til studiet er lektor Thiago-Verano-Braga, tidligere SDU, nu Universidade Federal de Minas Gerais, Brasilien.

For at løse mysteriet lavede forskerne forsøg på hjertemuskel-celler fra mus. Cellerne blev lagt i en petriskål med KPP, og ved hjælp af

massespektrometri holdt forskerne øje med, hvilke proteiner i cellerne, der blev aktiveret af KPP, og hvad det førte til. Det viste sig, at de proteiner, der blev aktiveret, spiller en rolle i celledød, energiproduktion, muskelsammentrækning og proteinomsætning. Men vigtigst i denne sammenhæng er, at PKK aktiverer cellulære systemer, der leder til produktion af nitrogenoxid – et stof, der er kendt for at sænke blodtrykket ved at afslappe musklerne omkring blodkarrene.

Studiet viser også, at KPP har potentiale til at indgå i fremtidig medicin mod en række hjerteproblemer. Forskerne oplyser, at det vil det være meget nemt og billigt at lave stoffet i laboratoriet, så det ikke møjsommeligt skal udvindes fra skorpioner.

Birgitte Svennevig, *J. Proteome Res.* 2020, 19, 8, 3467–3477

## Genfejl og skizofreni

**M**an har i et stykke tid, at tre små kromosomfejl giver en øget risiko for at udvikle skizofreni. Særligt en afvigelse på kromosom 22, også kaldet 22q11, udgør den største risikofaktor overhovedet for at blive skizofren, idet omkring 30 procent af dem, der har denne kromosomforandring, får sygdommen. Kromosomfejlen påvirker imidlertid 43 gener, og indtil nu har man ikke vidst, hvilke af de 43 gener, der er årsag til den stærkt øgede risiko for at få skizofreni.

Men nu er det lykkedes forskere fra Biologisk Institut på Københavns Universitet at slukke for hvert gen, et ad gangen, for på den måde kortlægge, hvad der står bag den øgede sygdomsrisiko. Det har de gjort ved at bruge bananfluer som forsøgsmodeller, da bananfluer og mennesker deler omkring 70 procent af de gener, der relaterer sig til sygdomme.



Bananfluer hjælper forskerne med at forstå mulige genfejl bag skizofreni. Foto: Sanjay Acharya/CC BY-SA 4.0

»Vi har slukket for de gener, som er påvirket af 22q11-kromosomfejlen, i hjernen på bananfluerne et ad gangen og undersøgt, hvilke gener der er nødvendige for, at hjernen fungerer normalt og ikke udviser adfærd, der er forbundet med skizofreni. Vi har opdaget, at et af de centrale gener er det såkaldt *Lztr1*-gen, som vi har omdøbt til "Night owl". For når der er fejl i det gen, giver det søvnforstyrrelser, som er karakteristiske for folk med skizofreni,« siger professor Kim Rewitz fra Bio-

logisk Institut, der står bag studiet og tilføjer:

»Det tyder på, at hvis man har en 22q11 kromosomfejl, kan det være den manglede funktion i *Night owl*-genet, der er med til at øge risikoen for at blive skizofren.«

En kendt risikofaktor for at udvikle skizofreni er forstyrrelser i det vigtige signalstof GABA i hjernen, der regulerer søvn. Ved at undersøge *Night owl*-genet nærmere har forskerne fundet, at dette gen også giver forstyrrelser i GABA-signalerne og på den måde muligvis øger risikoen for at udvikle sygdomme. Kortlægningen af generne i 22q11-afvigelsen, som eksempelvis *Night owl*, er et skridt på vejen til at forstå, hvad der konkret går galt i hjernecellerne ved skizofreni.

Resultaterne er netop publiceret i det anerkendte videnskabelige tidsskrift *PLOS Genetics*. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1008727>

# Når der går sport i kunstig intelligens

**K**ameraet er øjnene og software hjernen, når computer vision anvendes på sportsbegivenheder som fodbold, golf eller badminton. Forskerne Rikke Gade og Thomas Moeslund fra Aalborg Universitet har i samarbejde med kolleger fra University of Liege udviklet et system, hvor kameraer optager en hel fodboldkamp og efterfølgende kører optagelsen gennem en nyudviklet algoritme. Algoritmen er i stand til – uden menneskelig indblanding – at generere et kort videoresumé, der indeholder højdepunkterne, såsom mål, gule og røde kort, frispark osv.

I mange år har kameraer filmet sportsskammer, hvorefter blandt andet sportsjournalister har siddet og set optagelserne igennem for at udtage de sekvenser, der var de mest interessante. I dag kan stort set hele processen foretages uden menneskelig indblanding.

Computer vision giver i det hele taget mange nye muligheder inden for sportsverdenen. Teknikken kan være et supplement til eller



Foto: Colourbox.

ligeftrem en erstatning af de mange sportsanalytikere, som gennemtrekkes timevis af sportsskammer, analyserer og konkluderer, eksempelvis på en modstanders typiske reaktionsmønster. Det kan være, at modstanderen i en badmintonkamp altid reagerer med et bestemt slag, når denne henter en fjerbold i bageste højre hjørne, eller at det ofte fører til frispark, når en bestemt midtbanespiller sender fodbolden bagud til en holdkammerat.

Ud over at kunne anvendes til at lægge taktik forud for mødet med en modstander kan

computer vision også bruges til forbedring af en sportsudøvers egne præstationer, for eksempel ved at computeren påpeger forskellige hensigtsmæssige – eller uheldige – reaktionsmønstre i givne situationer.

For at kunne udføre de forskellige opgaver skal computeren selvfølgelig først have input – nærmest ligesom et barn, der lærer ved at betragte en masse andre børn og voksnes handlinger og reaktioner. Rikke Gade forklarer det således:

» Vi har trænet algoritmerne ved at bruge et datasæt på 500 internationale fodboldkampe, hvor tidspunkterne for forskellige begivenheder manuelt er markeret. Vi er nu nået dertil, hvor algoritmerne er stærke nok til at automatisere analysen af selv disse komplekse sportsvideoer. Det er en stor fordel, da en computer kan behandle enorme mængder data i døgndrift uden at blive træt, og den kan gøre det langt hurtigere end et menneske«.

Nelly Sander, AAU

## Danskernes kolesteroltal er blevet sundere

**3,9** mio. mister hvert år livet på verdensplan på grund af forhøjet kolesterol. Men fra 1980 og frem til i dag har fordelingen af dødsfaldene ændret sig. Det konkluderer en artikel i tidsskriftet *Nature* fra 4. juni på baggrund af blodprøver fra 102,6 millioner mennesker i 200 lande over en periode på 38 år. I Danmark og resten af vesten er befolkningens kolesteroltal faldet. Til gengæld er der sket en dramatisk stigning i nogle mellem- og lavindkomstlande.

Vi får primært kolesterol fra kosten. Stoffet – et lipid – er en vigtig byggesten for kroppens celler, men overskud af ”dårlig” kolesterol ophobes i blodårerne og medvirker til hjertekarsygdomme. Kolesterol kan nemlig deles i to fraktioner: ikke-HDL-kolesterol (der blandt andet indbefatter LDL, low-density-lipoprotein), som er den dårlige kolesterol, der helst skal være så lav som mulig og HDL (High-density lipoprotein), der omvendt beskytter mod eksempelvis hjerteanfald og slagtilfælde.

Det gennemsnitlige fald i dårlig kolesterol

| Køn     | Årstal | Gennemsnit total kolesterol (mmol/L) | Gennemsnit dårlig kolesterol (mmol/L) | Gennemsnit god kolesterol (mmol/L) |
|---------|--------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Mænd    | 1980   | 5,8                                  | 4,5                                   | 1,23                               |
| Mænd    | 2018   | 4,7                                  | 3,3                                   | 1,23                               |
| Kvinder | 1980   | 5,8                                  | 4,3                                   | 1,45                               |
| Kvinder | 2018   | 4,7                                  | 3,1                                   | 1,58                               |

i vesten skyldes blandt andet mindre mættet fedt og mere umættet fedt i vores kost, men også at folk effektivt medicineres mod forhøjet kolesteroltal. Selvom danskernes kolesteroltal er faldet, kan det dog stadig forbedres, for eksempel gennem sundhedskampagner og opsporing af risikogrupper.

Studiet viser også, at den største stigning i kolesteroltal er sket i Asien og Stillehavsområdet. Det skyldes sandsynligvis ligeledes ændrede kostvaner. Problemets omfang forstørres desuden af, at behandling med kolesterolsænkende medicin ikke er udbredt i disse lande. Studiet under-

streger dermed vigtigheden af politiske initiativer, der sænker indholdet af mættet fedt i kosten.

Studiet blev ledet af Imperial College London. I Danmark har forskere fra Syddansk Universitet, Forskningscenter for Forebyggelse og Sundhed, Rigshospitalet, Bispebjerg og Frederiksberg Hospital, Steno Diabetes Center, Københavns Universitet og Københavns Professionshøjskole bidraget til *NCD Risk Factor Collaboration*, som datasamlingen hedder.

Docent Anna Bugge, Københavns Professionshøjskole,  
<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2338-1>

## Duften af soltørret vasketøj

**E**n gruppe forskere fra Kemisk Institut på Københavns Universitet har undersøgt, hvad der giver tøj tørret i solen sin ekstra gode duft. Forskerne fandt et tomt, mørkt kontor i kemi-bygningen og en udendørs, solrig altan, hvor de hængte ufarvede bomuldshåndklæder op, som de forinden vaskede tre gange i hånden i ultrarent vand, som var uden partikler, mikroorganismer eller salte.

Ved at sammenligne de forskellige typer af tørrede håndklæder kunne forskerne se, at de soltørrede håndklæder producerede en række aldehyder og ketoner: Organiske molekyler, som vores næser forbinder med duften af planter eller parfume.

»De håndklæder, som hang i solen, havde klart de højeste koncentrationer af de oxiderede forbindelser, hvilket betyder, at solen har sat gang i nogle fotokemiske



Foto: Colourbox.

### De fundne stoffer og deres duft:

Methylfuran = Chokolade  
 2-Butylfuran = Frugtig, sødme  
 3-Methylbutanal = Frugtig, ristet  
 Nonansyre = Voksagtig  
 Heptanal = Frugtig, grøn, urteagtig  
 Octanal = Aldehydagtig, grøn  
 2-Heptanone = Frugtig, nøddeagtig  
 Nonanal = Frisk, blomster, citrus  
 Pentanal = Frugtig  
 Ethyl vinyl ketone = Bitter, peberet  
 2-Methyl-1-propanol = Æterisk, vinagtig  
 2-Hexenal = Sødme, mandel, frugtig, grøn, blade  
 Methacrolein = Blomster

processer, som har dannet de forskellige duftstoffer, vi fandt,« forklarer ph.d. Malte Frydenlund, der er en af forskerne bag undersøgelsen.

Eksempelvis udledte de soltørrede håndklæder stofferne pentanal, fundet i kardemomme, octanal, som giver citrus-agtige aromaer og nonanal, som dufter af roser. Forskerne mener, at årsagen skal findes i reaktioner mellem luft og våde overflader.

»Når luftarten Ozon reagerer med stoffer i et vådt håndklæde, dannes der aldehyder og ketoner. Men vi tror også, at det skyldes noget direkte relateret til sollyset. Det kan for eksempel være pigmenter eller farvestoffer i håndklædet, som absorberer sollyset og fører til de kemiske omdannelser,« siger Malte Frydenlund.

Michael Skov Jensen, KU

## Ny teknologi mod gylle-gener

**V**ed at blande garvesyre og fluorid i gylle er det lykkedes forskere fra Syddansk Universitet og Aarhus Universitet at uskadeliggøre en stor del af gyllens dårlige indflydelse på miljø og klima.

»Laboratorieforsøg med svinegylle har vist, at vi kan nedbringe ammoniakfordampning med op til 95 procent og reducere udledning af metan med op til 99 procent, afhængigt af mængden af tilsat garvesyre og fluorid. Som en glædelig og overraskende sidegevinst viser det sig, at samme teknologi nedbringer lugten af gylle betydeligt, svarende til en halvering af lugtindex,« siger professor Henrik Karring fra SDU Chemical Engineering, som står i spidsen for forskningsprojektet ManU-REA Technology.

Landbruget står for cirka 95 procent af ammoniakfordampningen, og Danmark har i



Ny teknologi kan fremover betyde mindre gyllelugt i Danmark. Foto: Pixabay.

EU's NEC-direktiv forpligtet sig til at reducere ammoniakfordampningen betydeligt, fordi ammoniak skader natur og skaber luftforurening.

Forskerne tror på, at deres nye opfindelse vil føre til, at landbruget på en nem og effektiv måde kan lykkes med at nedbringe erhvervets klima- og miljøbelastning. På sigt er det planen, at stofferne i den nye miljøteknologi skal indgå i et granulat, som landmanden blander i gyllen.

»Vi skal fortsat optimere teknologien, så den bliver billigere for landmanden at bruge, men vi tror på, at vi står med en teknologi, som på sigt kan revolutionere dansk svineproduktions miljø- og klimabelastninger,« siger Henrik Karring.

Før forskerne fandt frem til kombinationen af stofferne garvesyre og fluorid, blev cirka 70 forskellige stoffer undersøgt. Og udover at arbejde med doseringen leder forskerne fortsat efter nye stoffer, som kan booste

teknologien.

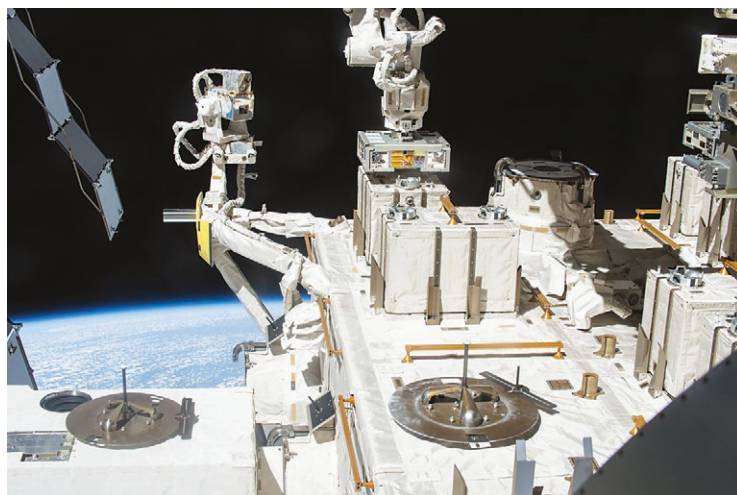
»Vi har faktisk fundet frem til flere stoffer, som har en effekt. Det er vi ved at undersøge nærmere, så jeg vil endnu ikke afsløre noget, men det ser lovende ud,« siger Henrik Karring.

Birgitte Dalgaard, SDU

# Bakteriekolonier kan overleve i rummet

**K**an bakterier overleve længe nok i rummet til, at de kan tilbagelægge de store afstande mellem planeter i rummet og på den måde bringe liv fra et sted til et andet? Det spørgsmål er blevet adresseret af Tanpopo-eksperimentet ombord på den internationale rumstation ISS, og umiddelbart er svaret ja.

Bakterier af slægten *Deinococcus* er kendt for at danne op til millimeterstore kolonier, der kan være meget modstandsdygtige overfor for eksempel UV-stråling. For at teste, om disse bakterier også kan klare de barske vilkår i rummet, placerede Akihiko Yamagishi ved Tokyo Universitet og kolleger aggregater af *Deinococcus* på paneler udenpå den internationale rumstation. Aggregaterne var af forskellige tykkelse, og de blev undersøgt efter henholdsvis 1,2 og 3 år for at se, om bakterierne stadig levede.



Eksperimenterne med *Deinococcus* fandt sted fra 2015-2018 på en facilitet beregnet til "udendørs eksperimenter" placeret på det japanske modul på ISS. Foto: JAXA/NASA

Forskerne fandt, at aggregater med en tykkelse på mere end 0,5 millimeter stadig var delvist i live efter tre år. Forskerne kunne konstatere, at bakterierne i de yderste lag var døde, men at de derved skabte et beskyttende lag, der sikrede overlevelsen af kolonien. Forskerne vurderer, at en koloni

tykkere end 0,5 millimeter vil kunne overleve mellem 15 og 45 år uden på ISS. Ud fra designet af eksperimentet kunne forskerne også anslå, at en koloni tykkere end 1 millimeter vil kunne overleve op til 8 år under forhold, der hersker i det ydre rum. Det betyder, at en sådan koloni potentielt ville kunne overleve en rejse til Mars.

Tidligere eksperimenter har vist, at bakterier kan overleve i rummet, hvis de findes inde i bjergartsfragmenter, der yder

beskyttelse mod omgivelserne. Men nu er det altså også vist, at bakteriekolonier ikke nødvendigvis behøver en sådan beskyttelse for at kunne overleve længere tid i rummet.

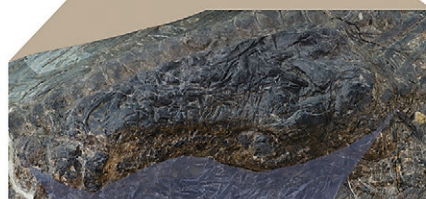
CRK, Kilde: *Front. Microbiol.*, 26 August 2020

## En ordentlig mundfuld

**D**a en international gruppe palæontologer undersøgte et fem meter langt fossil tilhørende en uddød gruppe af havlevende reptiler kaldte ichtyosaurer, blev de forbløffede over at finde resterne af et fire meter langt reptil i dets mave. Fundet følger vægt til den formodning, man i forvejen havde, nemlig at ichtyosaurerne tilhørte de absolutte toprovdyr i datidens hav. Ichtysaurerne var samtidige med dinosaurerne og levede i en lang periode fra omkring 250 millioner siden til omkring 90 millioner år siden.

Forskerne undersøgte mere konkret en kompakt klump af fossile knogler, som fandtes i maven på en ichtyosaur tilhørende slægten *Guizhouichthyosaurus*. Det viste sig, at knoglerestern tilhørte et overraskende stort individ af et andet marint reptil kaldet en thalattosaur. Både hoved og

Predator: *Guizhouichthyosaurus* (ichtyosaur, ~5 m)



Prey's trunk in the predator's stomach

Prey: *Xinpusaurus* (thalattosaur, ~4 m)

Illustration fra Da-Yong Jiang et al, *iScience*, / CC BY 4.0

hale på den spiste thalattosaur manglede (den intakte hale blev fundet i nærliggende sediment), men ryghvirvlerne lå stadig

linet op som perler på en snor. Den havde også stadig både sine for- og bagluffer, hvilket normalt ville være noget af det første til at falde af, når et ådsel rådner. Forskerne mener derfor, at den spiste thalattosaur er blevet jaget og nedlagt af den store ichtyosaur og ikke fortæret som et ådsel.

Indcjerne peger på, at ichtyosaueren flåede hoved og hale af sit offer, da den nedlagde det, og at den dermed formentlig har benyttet sig af en "grib og flå" strategi i lighed med for eksempel nutidens spækhuggere. Om så det enorme måltid har været en medvirkende årsag til, at ichtyosaueren selv omkom, før den havde fordøjet sit bytte, melder historien ikke noget om.

CRK, Kilde: *iScience* DOI: (10.1016/j.isci.2020.101347)

# DA STORMENE FIK FAT I DANMARK

## Om forfatterne



Sebastian H. Mernild (ph.d. & d.sc.), professor i klimaforandringer og administrerende direktør for Nansen Centeret, Bergen. Hovedforfatter ved FN's klimapanel (IPCC). Fra 1. oktober prorektor ved SDU. [sebastian.mernild@nersc.no](mailto:sebastian.mernild@nersc.no)



John Cappelen, seniorklimatolog ved Danmarks Meteorologiske Institut.



Mikael Scharling, klimatolog ved Danmarks Meteorologiske Institut.

**Siden 1880'erne har vi set betydelige forandringer i det danske klima – højere middeltemperaturer og stigende nedbør. For samme periode viser det sig ligeledes, at antallet af de kraftigste storme er steget.**

**S**iden 1880 er den globale middeltemperatur steget omkring 1,1 grader Celsius. Ifølge den amerikanske forskningsorganisation NASA har omkring 20 procent af klodens areal oplevet en temperaturstigning på 1,5 grader. For Danmarks vedkommende er middeltemperaturen steget omkring 1,4 grader i samme periode og årsnedbøren cirka 11 mm pr. årti, dog uens fordelt over landet.

En anden vigtig klimaparameter er vind. Det er af samfundsmæssig interesse at vide, hvordan et stadigt varmere og vådere klima påvirker vindforholdene – især om det påvirker frekvensen af storme og orkaner som december-orkanen i 1999 eller stormene Allan og Bodil

begge i 2013, da sådanne begivenheder ofte påfører samfundet store ødelæggelser og dermed økonomisk skade.

Vi har set på vinddata fra perioden 1872 til 2020, og vores analyse tyder på, at der i denne periode er sket en stigning i frekvensen af de kraftigste storme.

### Vindobservationer

Vindforhold, vindens retning og styrke, har været målt systematisk i Danmark i over 150 år. Før 1872, hvor DMI påbegyndte etableringen af et nationalt observationsnetværk, blev vinden målt på Det Kongelige Danske Landhusholdnings-selskabs stationer. Det har altid været tilstræbt at måle vindhastigheden efter forskrifterne, dvs. ty-

pisk 10 meter over terræn. Baseret på disse observationer har vi i dag en kortlægning og forståelse af de tidsmæssige og rumlige variationer, men også de meteorologiske forhold, der typisk fører til storme og orkaner over Danmark – typisk ved lavtryksdannelse og -udbygning sydvest, vest og nordvest for Danmark.

Kraftigt blæsevejr og storme klassificeres ifølge DMI efter styrke (klasse 1-4) og efter udbredelse i regionale begivenheder (10 til 30 procent af landet er ramt) eller nationale begivenheder (mere end 30 procent). For at blæsevejr kan defineres som klasse 1 (stormende kuling) skal vindhastigheden som minimum være 21 m/s beregnet ud fra 10 minutters gennemsnit-



Figur 1: Vindobservationer for ti tilfældigt udvalgte DMI-stationer for perioden 2009 til 2018, dog har vi sørget for en landsdækkende repræsentation.

Øverst til venstre: geografisk placering af stationerne.

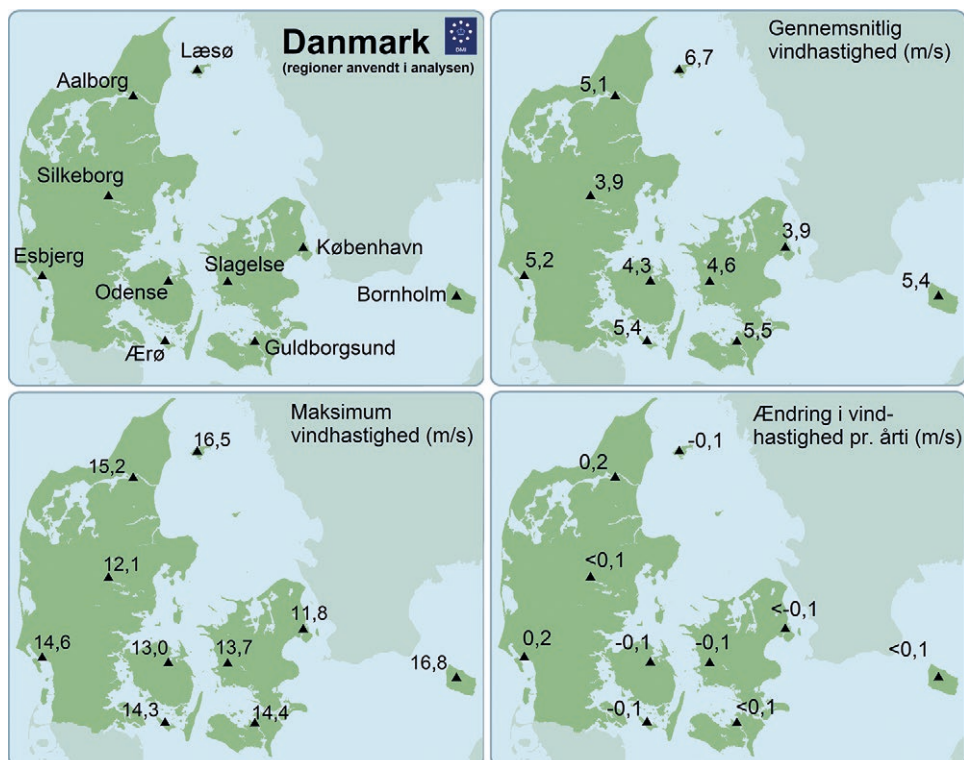
Øverst til højre: daglig middelvindhastighed.

Nederst til venstre: maksimum daglig vindhastighed.

Nederst til højre: Ændring i middelvindhastighed pr. årti. Enheden er m/s.

← Foto fra Vedbæk Havn under stormen *Bodil*, 6. december 2013.

Foto: Jacob Michelsen og DMI.



lig vindhastighed. Ved *klasse 2* er vindhastigheden mere end 24,5 m/s (storm), *klasse 3* mere end 26,5 m/s (orkanlignende storm) og *klasse 4* mere end 28,5 m/s (stærk storm eller orkan). DMI har siden 2013 navngivet de enkelte storme over Danmark. Disse navngivne storme findes blandt andet på den danske *stormliste*.

### Overordnede danske variationer

Observationer fra ti tilfældigt udvalgte DMI-stationer fordelt over hele Danmark (figur 1) viser forskellige forhold fra egn til egn i såvel middelvind som i vindstød. De højeste middelvindhastigheder og kraftigste vindstød er på disse stationer observeret langs kystområderne på Læsø og Bornholm, mens de laveste vindhastigheder er observeret i Midtjylland ved Silkeborg og i det indre København. Som eksempel er medianvindhastigheden for Læsø og Silkeborg henholdsvis 6,3 m/s og 3,7 m/s. Vindhastigheder påvirkes af jordoverfladens karakteristika og beskaffenhed (videnskabeligt kaldet: *ruhed*) – eksempelvis reducerer bevoksning

og bygninger vindhastigheden. Over terrænoverfladen udvikler vindhastigheden sig opefter – normalt efter et logaritmisk princip. Der tales derfor om et logaritmisk vindhastighedsprofil.

På trods af geografiske og vertikale variationer i vindhastighederne, ser vi ikke systematiske variationer fra år til år i den årlige danske middelvindhastighed. Årsmiddelvindhastigheden for Danmark fra 2001 til 2019 lå i intervallet mellem 4,5 m/s og 5,3 m/s. Siden 2001 er der ikke set en signifikant stigning i årsmiddelhastigheden for Danmark. Årsmiddelværdierne dækker over sæsonmæssige variationer, hvor for eksempel den gennemsnitlige vindhastighed for januar og juli var forskellig. For januar var middelvindhastigheden 5,4 m/s med daglige gennemsnitlige vindhastigheder op til 12–13 m/s. For juli var middelvindhastigheden 4,0 m/s med daglige gennemsnitlige vindhastigheder op til 8–10 m/s. Generelt set forekommer der kraftigere vinde midt på vinteren sammenlignet med midt på sommeren.

### Storm- og orkanhændelser

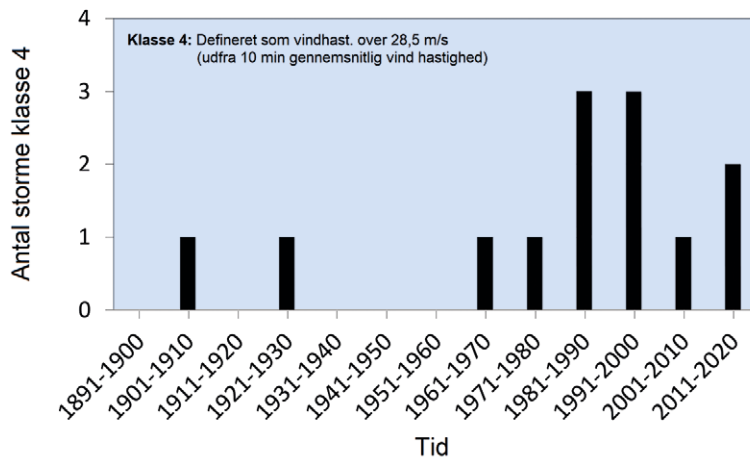
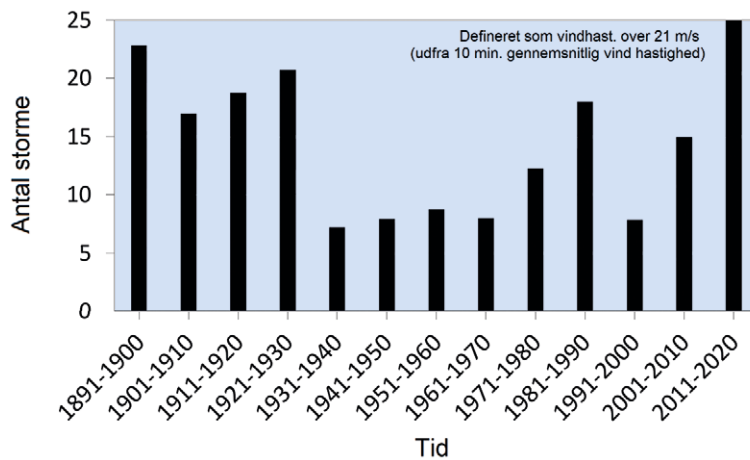
Siden 1891 er der registeret ikke mindre end 192 storme og orkaner over Danmark (figur 2, næste side). Af disse har de 110 været *klasse 1* hændelser, 52 har været *klasse 2*, 17 *klasse 3* og endelig har 13 været *klasse 4*. Når man ser samlet på disse 192 hændelser, synes der heller ikke at forekomme nogen form for systematik i frekvensen af storme og orkaner over tid, udover at perioden fra 1929 til 1998 i gennemsnit pr. årti havde et lavere antal storme og orkaner (i gennemsnit cirka 10 pr. årti) end perioderne fra 1891–1928 og 1999–2020 (i gennemsnit cirka 20 pr. årti).

Overordnet set for Danmark har der i gennemsnit siden 1891 forekommet 14 storme og orkaner pr. årti. Observationerne viser, at omkring 75 procent af alle storme og orkaner, der har ramt Danmark, kommer fra henholdsvis sydvest, vest og nordvest, hvor 63 procent er defineret som nationale storme, dvs. mere end 30 procent af Danmarks areal har været ramt.



↑ Storme giver ofte anledning til stormflod med forhøjet vandstand. Her er det den mindre storm *Urd*, 27. december 2016, som forårsager oversvømmelse i Roskilde. Der er lagt såkaldte "watertubes" ud for at begrænse oversvømmelserne.

Foto: Colourbox



Figur 2: (øverst) antallet af klasse 1 til 4 storme over Danmark for perioden 1891–2020 vist i tiårs intervaller, og (nederst) kun antallet af klasse 4 storme og orkaner. For 2020 er månederne september til december ikke medregnet.

## De kraftigste storme er blevet hyppigere

I øjenfaldende er dog variationerne i antallet af de kraftigste storme og orkaner, nemlig klasse 4 (figur 2). Ud af de i alt 13 klasse 4 hændelser forekom kun to i første halvdel af observationsperioden indtil 1953, mens de resterende 11 hændelser alle forekom i sidste halvdel af perioden 1954–2020. Når man ser på disse stormes udbredelse, er det kun november-stormen fra 1981 og december-stormen fra 1999, der indtil videre er blevet klassificeret som nationale hændelser, resten var regionale storme.

Ifølge den amerikanske forskningsorganisation NOAA har man de seneste årtier dels observeret kraftigere og hyppigere atlantiske orkaner over de seneste årtier, dels observeret et skifte i stormbevægelsesmønstret udenfor troperne mod nordligere breddegrader, hvor de kraftigste storme over tid er blevet endnu kraftigere. Om ændringen i hyppighed for klasse 4 storme og orkaner over Danmark hænger direkte sammen med dis-

se forhold, som omtales af NOAA, er endnu for tidligt at konkludere. Vi vurderer dog, at der for Danmarks vedkommende i et stadigt varmere klima vil forekomme en svag stigning i middelvindhastigheden og i stormstyrken, dog med lokale til regionale variationer.

### Næste skridt: at se på konsekvenserne

I de analyser, vi præsenterer her, har vi udelukkende set på observationer. Og de vinddata, vi har set på, påpeger, at der kan konstateres ændringer i frekvensen af de kraftigste storme og orkaner. Vi har til gengæld ikke set på, hvilke konsekvenser det vil have for Danmark, hvis udviklingen fortsætter, og vi dermed får flere af de kraftigste storme. Men konsekvenser vil det helt sikkert have, da det er de kraftigste storme og orkaner, der giver de største ødelæggelser. For eksempel vil hyppigere storme kombineret med et stigende havniveau belaste kyster og diger med risiko for erosion og oversvømmelser af havnebyer og landområder.

| År   | Dato             | Regional (R)/<br>National (N) | Navn            |
|------|------------------|-------------------------------|-----------------|
| 1902 | 25.-26. december | R                             | Julestormen     |
| 1921 | 23.-24. oktober  | R                             | Ulvsund-stormen |
| 1967 | 17.-18. oktober  | R                             | -----           |
| 1976 | 3. januar        | R                             | -----           |
| 1981 | 24.-25. november | N                             | -----           |
| 1983 | 18. januar       | R                             | -----           |
| 1984 | 13. januar       | R                             | -----           |
| 1990 | 25.-26. januar   | R                             | -----           |
| 1990 | 26. februar      | R                             | -----           |
| 1991 | 9. januar        | R                             | -----           |
| 1999 | 3. december      | N                             | -----           |
| 2013 | 28. oktober      | R                             | Allan           |
| 2013 | 5.-6. december   | R                             | Bodil           |

De kraftigste storme og orkaner, klasse 4, siden 1891. Kilde: DMI's stormliste.

De ændringer i mønstret af de kraftigste storme, som vi her har påpeget, understreger, at vi som samfund må tilpasse os og aktivt gøre en indsats både nu og i de kommende årtier for at imødegå de forventede forandringer i klimasy-

stemet. For at kunne gøre det på det bedste grundlag, skal vi uddybe analyserne og blandt andet have et endnu bedre overblik over, hvordan variationerne af disse ændringer forventeligt vil tage sig ud i årtierne, der kommer. ■

Videre læsning:  
Cappelen, J. (ed),  
2020. Denmark – DMI  
Historical Climate Data  
Collection 1768–2019.  
DMI Report 20-02.

Tidsskriftet Vejret,  
Dansk Meteorologisk  
Selskab: [www.dams.dk/vejret](http://www.dams.dk/vejret)

DMI's stormliste er  
tilgængelig via denne  
side: [www.dmi.dk/vejr-og-atmosfare/temaforside-vind/storme-i-danmark/](http://www.dmi.dk/vejr-og-atmosfare/temaforside-vind/storme-i-danmark/)

Det Naturvidenskabelige Fakultet

# Bliv studerende for en dag



Som **Studerende for en dag** følger du undervisningen på den uddannelse, du er interesseret i. Du spiser frokost med den studerende, som viser dig rundt, og så bliver du klogere på, om uddannelsen er den rigtige for dig.

Besøg **Kemi, Fysik, Matematik, Anvendt matematik, Datalogi, Biokemi og molekylær biologi, Biologi, Biomedicin, Farmaci eller Matematik-Økonomi** på Syddansk Universitet i Odense.

Tilmeld dig på:  
[sdu.dk/nat/studerendeforendag](http://sdu.dk/nat/studerendeforendag)



# DYBE RØDDER

– et spadestik tættere på bæredygtig produktion?

Foto: Københavns Universitet

Forfatterne



Dorte Bodin Dresbøll er lektor i afgrødeviden- skab ved Københavns Universitet. Hun forsker i rodvækst og ressourceoptag især fra dybe jordlag. [dbdr@plen.ku.dk](mailto:dbdr@plen.ku.dk),



Kristian Thorup-Kristen- sen er professor i afgrødeviden- skab ved Københavns Universitet. Han forsker i bæredyg- tige dyrkningssystemer og rodvækst. [ktk@plen.ku.dk](mailto:ktk@plen.ku.dk)

**Afgrøder med dybe rødder kan hente både vand og næring i dybere jordlag, og flere afgrøder med dybe rødder i landbrugs- produktionen kan derfor hjælpe med at udnytte ressourcerne bedre.**

**Det har forskere kigget nærmere på i DeepFrontier-projektet, hvor de har udviklet helt nye faciliteter til at studere dybe rødder.**

**D**er er stor global fokus på, hvordan vores landbrugsproduktion bliver mere bæredygtig. Udviklingen af en mere bæredygtig produktion kan angribes fra mange vinkler, og en af dem er at fremme afgrøder med dyb rodvækst. Med dyb rodvækst får afgrøderne nemlig adgang til større mængder af vand og næringsstoffer fra jorden og bliver dermed mindre afhængige af, at vi tilfører vand og gødning i landbruget. Hvis afgrøderne kan optage næringsstoffer fra dybere jordlag, kan udvaskningen af især nitrat til grundvand og det omgivende miljø reduceres. Og hvis planterne kan

udnytte vand fra dybere jordlag, kan de i højere grad udnytte vand fra vinterens overskudsnedbør til deres vækst om sommeren og dermed være bedre tilpassede til de højere temperaturer og hyppigere tørkeperioder, vi forventer med de globale klimaændringer.

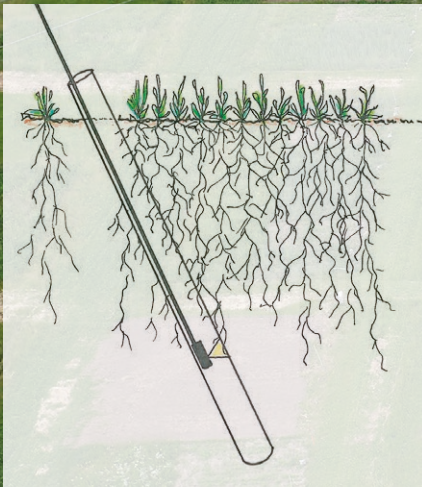
Der er altså mange gode grunde til at interessere sig for, om vi kan fremme den dybe rodvækst hos landbrugsafgrøderne. For at gøre det, har vi brug for langt mere viden om, hvilke afgrøder der har den bedste evne til at vokse dybt ned i jorden, og hvilke forhold omkring dyrkning, klima og jordbunden der

især påvirker den dybe rodvækst. Vi skal også forstå de dybe rødders funktion bedre: Hvilke ressourcer hjælper de især planterne til at få fat på, og hvordan bidrager det til planternes vækst, udbytte og samlede næringsstofudnyttelse?

Rodvækst er altid en besværlig side af plantevækst at arbejde med, fordi de tynde rødder er skjult i jorden og svære at observere og måle på. Netop fordi det er udfordrende at studere rødder, er der lavet alt for få undersøgelser af planters rodvækst og funktion i dybe jordlag. Det forsøger vi at gøre noget ved i DeepFrontier-projektet (finansieret af

Baggrund: Luftfoto af vores markfacilitet, DeepRootLab, hvor vi har installeret minirhizotroner til 5 meters dybde og in-growth cores, som ses længst til højre.

Foto: Eusun Han, Tegning: Irene Skovby Rasmussen.



Skitse af minirhizotroner.



Installation af in-growth-core i marken.



Udstyr til in-growth-cores

## Metoder til at studere dybe rødder

### Minirhizotroner

Minirhizotroner er en velkendt teknik, som kan bruges til at måle røddernes vækst, fordeling og dybde. Metoden går ud på at installere lange plexiglasrør i jorden, føre et kamera ned i rørene og tage billeder af de rødder, der rammer rørenes overflade. På den måde kan man følge røddernes udvikling over tid uden at tage destruktive prøver. De mange billeder, der bliver taget på denne måde, kan analyseres ved hjælp af et nyt program vi har udviklet til billedanalyse. Det er baseret på et neuralt netværk, som efter en kort manuel træning automatisk kan bestemme den totale rodlængde.

### Vandoptag

Røddernes vandoptag måler vi blandt andet med vandsensorer (TDR-sensorer, time domain reflectometer) i jorden, der løbende måler jordens vandindhold. På den måde kan vi estimere planternes vandoptagelse ved at følge udtørringen af jordlagene. En anden metode er at injicere tungt vand  $^2\text{H}_2\text{O}$  i en bestemt dybde. Herefter kan transpirationsvandet opsamles ved at sætte en plastikpose over planten og samle det kondensvand, der sætter sig på indersiden af posen, når planten transpirerer. Ved efterfølgende at analysere det opsamlede vand for  $^2\text{H}_2\text{O}$  kan man måle, om rødderne i forskellige dybder er i stand til at tage vand op og transportere det til de overjordiske dele.

### In-growth-cores

Er vi ikke kun interesseret i røddernes fordeling, men også optagelse af vand og næring, er der brug for andre metoder. Vi har blandt andet udviklet et system, hvor jordprøver kan sættes ned i jorden gennem et rør, der giver adgang til jorden i forskellige dybder. Når jordprøven er placeret, kan planternes rødder vokse ind i prøven. Tilføres jordprøven isotoper som  $^{15}\text{N}$  eller sporstoffer som rubidium, cæsium eller litium, der optages analogt med væsentlige makronæringsstoffer som calcium og kalium, bliver det muligt at bestemme røddernes aktivitet i en bestemt dybde ved at måle på det overjordiske optag.

Villumfonden), hvor vi arbejder med dyb rodvækst hos især landbrugsafgrøder. Planterne har nogle kraftige rødder, som man kan se, hvis man graver en plante op, men de rødder, der især optager næringsstoffer, er meget tynde, typisk kun omkring 0,1 til 0,5 mm i diameter. Det er naturligvis ekstra udfordrende at studere de tynde rødder dybt i jorden, som i DeepFrontier-projektet, hvor

vi fokuserer på rodvækst i jordlag fra 2 til 5 meters dybde.

### Hvad er dyb rodvækst?

Der findes ingen definition af, hvad dyb rodvækst er, og i den videnskabelige litteratur bruges mange forskellige grænser. Det er blevet foreslået at bruge 1 meter som grænsen for dyb rodvækst generelt, og det kan give god mening i den

store sammenhæng. Der er store forskelle på, hvor dybt forskellige planter rødder kan gro ned i jorden: En del planter når sjældent en meters dybde, mens verdensrekorden i målt roddybde er på hele 68 meter. Men grænsen på 1 m giver god mening, både fordi 1 m udgør en grænse i vores viden, rigtig mange studier af rodvækst og funktion har ikke målt dybere end det, og

Figuren er tilpasset fra Thorup-Kristensen and Kirkegaard, 2016.  
<https://doi.org/10.1093/aob/mcw122>

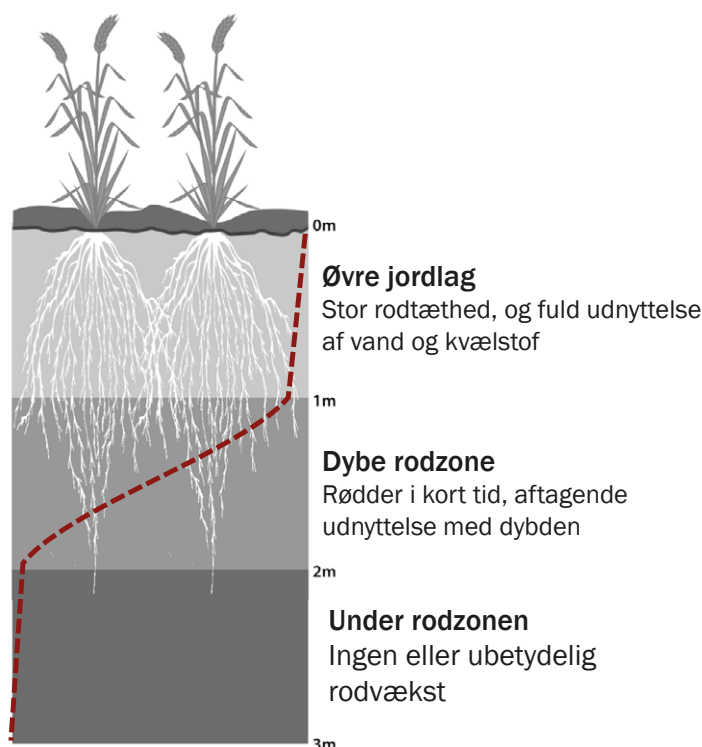


Illustration af rodzonen og dyb rodvækst. Dybderne passer nogenlunde med vinterhvede med fuld udnyttelse af vand og kvælstof til cirka 1 meters dybde og derefter aftagende rodtæthed og udnyttelse imellem 1 og 2 meters dybde. Fokus i projektet er på de dybere jordlag: Kan vi øge vækst og udnyttelse i den dybe del af rodzonen, og kan vi flytte bunden af rodzonen længere ned, og dermed øge den samlede udnyttelse af ressourcer fra dybe jordlag?

fordi mange af vores landbrugsafgrøder med deres korte vækstsæson ofte når roddybder på et sted imellem 0,5 og 2,5 meters dybde. Forenklet kan vi sige, at hvis vi kan måle dybere end 1 m, får vi ny viden om dybe rødder, og kan vi øge landbrugsafgrødernes rodvækst og rodaktivitet under en meters dybde, opnår vi bedre udnyttelse af ressourcerne.

Det biologiske potentiale for dyb rodvækst er stort – især hos flerårige planter. Blandt træer og buske har en række studier vist eksempler på rodvækst ned til 5-10 meters dybde eller mere, men i mange tilfælde begrænses den faktiske rodudvikling af forholdene i underjorden. Vores samlede viden om, hvor dybt planterødder vokser i praksis, er ret begrænset. For dyrkede afgrøder er roddybden især styret af to faktorer – dels hvor hurtigt, de gror ned gennem jorden, og dels hvor lang tid, de har til deres rodvækst. I landbrug er roddybden derfor generelt væsentligt mindre end i naturlige plantebestande. Vores mange enårige afgrøder vokser simpelt hen i for kort tid til at kunne nå at udvikle rigtigt dybe rødder.

Dyb rodvækst kan også forstås i forhold til rodfunktion, ikke bare den faktiske dybde. I de øverste jordlag, hvor næringsstoffer tilføres med gødning og frigives ved omsætningen i jorden, kan næsten alle afgrøder opnå en høj rodtæthed og effektivitet. I de jordlag er optagelsen af vand og næringsstoffer høj, og rodvæksten normalt ikke begrænsende for optagelse. Længere nede i jorden er rodvæksten ofte den begrænsende faktor: I den dybeste del af rodzonen er der få rødder, de er kun aktive i en kort periode, og ofte uensartet fordelt. Endnu længere nede er der jordlag, som nogle afgrøder kan nå, andre ikke. Vores fokus på dybe rødder handler om at øge forståelsen og dermed forbedre udnyttelsen af vand og næringsstoffer fra de dybe dele af jorden, hvor afgrødernes rodvækst ellers er begrænsende for udnyttelsen eller helt fraværende.

### Dybe rødder – hvordan?

Afgrøders rodvækst afhænger af både biotiske og abiotiske faktorer, men vigtigst for røddernes dybde er som nævnt planteartens genetiske potentiale og udviklingstiden. Så det er her, vi skal sætte ind, hvis vi for alvor skal have dybere rødder

i vores dyrkningssystemer. Det er først og fremmest artsvalget, der er afgørende. Afgrøder med langsom rodvækst eller kort vækstsæson, for eksempel løg eller salat, kan have svært ved at nå en halv meters roddybde. Vores mest udbredte kornafgrøder kan typisk nå 1-2 meters dybde, dybest for vinterkornet, som sås om efteråret, mens for eksempel roer eller vinterraps har mulighed for at nå i hvert fald 3 meters dybde. Den dybeste rodvækst opnås hos visse flerårige afgrøder. Det er især kendt fra lucerne, hvor nogle studier har vist rodvækst til over 5 meters dybde.

Flerårige afgrøder har derfor særligt mulighed for at sætte dybe rødder, så hvis man kan inkludere flere flerårige afgrøder i vores dyrkningssystemer vil det bidrage til en bedre udnyttelse af jordvolumenet. I DeepFrontier-projektet har vi derfor undersøgt en række flerårige afgrøder, blandt andet Kernza, som er en flerårig kornafgrøde, der er udviklet i USA. Det er ikke kun artsvalget, men også valg af sort indenfor den enkelte art, der har betydning for roddybden. Sortsforskelle på op mod 50 cm er fundet i vinterhvede, og der er derfor et stort potentiale for forædling for sorter med dybe rødder. Da vækstsæsonens længde har stor indflydelse på roddybde, er såtiden også en vigtig parameter, der kan skrues på, og tidligere studier har vist betydeligt større roddybde, når vinterhvede sås 2-4 uger tidligere i efteråret.

Endelig kan dyrkningssystemet have stor effekt på røddernes dybde. Studier, hvor to eller flere plantearter dyrkes sammen, har vist, at dette kan føre til dybere rødder, hvilket både kan skyldes konkurrence og facilitering, altså hvor den ene plante fremmer rodvæksten af den anden. Det kan også have stor betydning for roddybden, hvad der har været på marken året før. Især afgrøder med pælerod og kraftige rødder kan danne bioporer i jorden, der fremmer roddybden af den efterfølgende afgrøde. Rødderne vok-

**Yderligere læsning:**  
Thorup-Kristensen et al. 2020. Digging deeper for agricultural resources, the value of deep rooting. *Trends in Plant Science* 25, 4: 406-417.

Thorup-Kristensen et al. Exposing Deep Roots: A Rhizobox Laboratory. Technology of the month. *Trends in Plant Science*, 25, 4: 418-419.

Pierret A et al. 2016. Understanding deep roots and their functions in ecosystems: an advocacy for more unconventional research. *Annals of Botany* 118: 621-635.



Øverst et oversigtsbillede af rodtårnene. Nederst viser billederne fra venstre: tårnene med tage for at holde vand ude, en specialbygget fotoboks, der gør det muligt at tage billeder af rødderne i hele jordprofilen, injektion af  $^{15}\text{N}$  og  $^2\text{H}_2\text{O}$  direkte i jorden og endelig placering af sporstoffer i små rør, der efterfølgende kan tages ud igen.

## Rodtårnene

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

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

Fotos: Camilla Ruo Rasmussen

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

ser mere ubesværet ned gennem porer, der allerede findes i jorden.

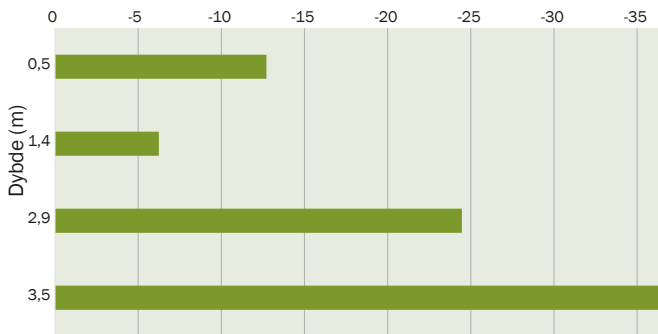
### Ressourceudnyttelse

Så selvom vand og næring tilføres til jordoverfladen, vil de i et vist omfang bevæge sig ned i jorden. Vand er mo-

bilt i jorden, så når der er overskud af vand, bevæger det sig ned igennem jorden, og nogle næringsstoffer følger med ned, opløst i jordvandet. For at sikre en optimal udnyttelse af ressourcerne er rodsystemernes fordeling i jorden og roddybden der-

for væsentlig. Især vand og kvælstof bevæger sig let i jorden, og det er derfor en fordel at have dybe rødder for at hente vand fra dybere jordlag under tørre forhold og for at fange kvælstof, inden det bliver udvasket og risikerer at forurene vandmiljøet.

Forskell i vandindhold i jorden (%)



Vandindhold målt med TDR-sensorer i jorden vist som forskellen mellem lucerne og Kernza i slutningen af juni 2018. I de øvre jordlag er der ikke stor forskel på optaget, mens Lucerne i modsætning til Kernza tager betydelige mængder vand op i de dybe jordlag, på trods af at begge har dybe rødder og sammenlignelig overjordisk biomasse.

Det er dog mindre kendt, i hvor høj grad afgrøder kan hente andre næringsstoffer i dybere jordlag, og hvor effektivt og hurtigt de er i stand til at udnytte vand dybt i jorden, vand der skal transporteres flere meter igennem rødderne op til overfladen.

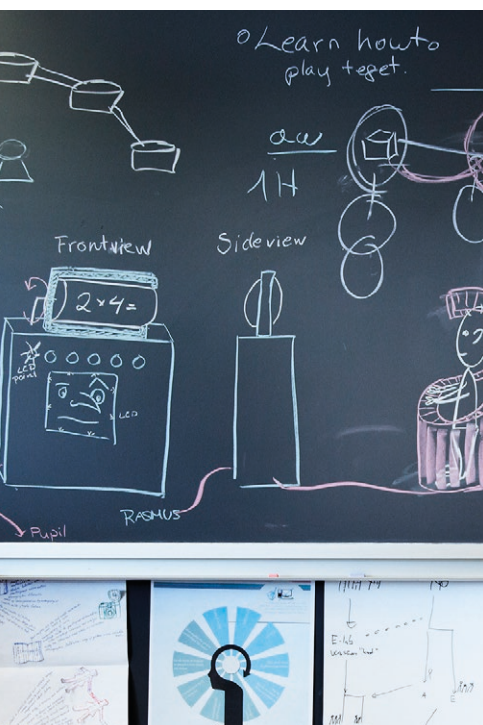
I DeepFrontier-projektet viste det sig, at en række arter havde rødder i mere end 2 meters dybde, og at de var i stand til at hente næring fra disse dybder. Overraskende viste det sig, at der er arter, som kan optage fosfor effektivt fra dybe jordlag, selvom vi normalt regner med, at dette kræver en høj rodtæthed, og at fosfor især tages op fra de øverste jordlag. Resultaterne viste også, at der er stor forskel på, hvor gode afgrøderne er til at hente vand fra

dybere jordlag. En sammenligning mellem lucerne og Kernza viste meget tydelig forskel i arternes evne til at hente dybt vand. På trods af, at de begge havde rødder under 3 meters dybde og havde sammenlignelig overjordisk biomasse og dermed vandbehov, tog Kernza næsten ingen vand op fra de dybe jordlag, mens lucerne kunne tømme hele rodzonen for vand, lag for lag.

### Nye metoder flytter forskningen

Vi har et stort behov for at udvikle nye og bedre metoder i rodforskningen og ikke mindst til forskning i dybe rødder. De fleste metoder er dyre eller meget tidskrævende, og man må ofte nøjes med få målinger, hvor rødderne studeres uden tilstrækkelige gentagelser. Mange metoder er destruktive, og de påvirker rødderne eller jorden, vi skal måle på. For at udvikle forskningen på området, har vi brug for metoder, som muliggør flere og hyppigere målinger, så vi kan følge planterne over tid. Sådanne metoder skal helst gøre det muligt at måle flere parametre om både rodvækst og rodfunktion samtidigt under så naturlige og uforstyrrede forhold som muligt.

I projektet har vi derfor udviklet to nye faciliteter til at studere dyb rodvækst. Først en række "rodtårne", det vil sige 4 meter høje kasser fyldt med jord, vi kan dyrke planter i. Her kan vi gennem plexiglasruder se og tage billeder af røddernes udvikling, samt åbne helt ind til jorden og tage prøver ud eller tilsætte isotoper og sporstoffer i specifikke dybder. Ved hjælp af vandsensorer i forskellige dybder kan vi også følge vandoptaget. Derudover har vi udviklet et rodlaboratorium i marken, hvor vi har 24 parceller udstyret med lange minirhizotroener, der gør det muligt at se rødderne i jorden ned til 5 meters dybde. Vi har også udviklet et system, der gør det muligt at placere jordprøver i forskellige dybder og studere rodvæksten ind i prøverne og optagelsen af isotoper og sporstoffer derfra. Endelig er rodlaboratoriet udstyret med vandsensorer i flere dybder. Disse faciliteter gør det muligt at kombinere en række metoder og at måle løbende igennem planternes vækst og udvikling. Udvikling af nye metoder og videreudvikling af eksisterende metoder har været en vigtig del af projektet, og med de nye faciliteter er vi kommet et spadestik tættere på forståelsen af dybe rødders vækst og funktion. ■



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

## Innovationskursus for gymnasielærere – efterår 2020

SDU tilbyder nu helt et nyt kursus, der giver gymnasielærere viden og kompetencer til at udvikle og undervise i forløb baseret på innovationsfaglige læringsmetoder.

**Innovationskursus for gymnasielærere** tager udgangspunkt i Design Thinking-metoden, og hver enkelt lærer vil udvikle sit eget innovative undervisningsforløb med udgangspunkt i fagstof af eget valg. Derudover giver kurset indsigt i aktuelle metoder og værktøjer til innovativ læring samt sætter deltagerne i stand til at reflektere over didaktiske valg.

Kurset består af tre moduler, der afholdes på SDU Sønderborg d. 24/11/20, 8/12/20 og 26/1/21. Alle dage fra kl.12:00 - 17:00.



# KULSTOFLAGRING VED HJÆLP AF DYBE RØDDER

Kulstoflagring i landbrugsjord anses som en måde at mindske landbrugets klimabelastning. I den forbindelse kan afgrøder med dybe rødder spille en særlig rolle.

I 2015 indgik de 196 lande under FN's Klimakonvention en aftale i Paris om en grøn omstilling, der skal holde de globale temperaturstigninger under to grader. Paris-aftalens ambitioner kræver i praksis, at en del af atmosfærens CO<sub>2</sub> kan opsamles og lagres. Her spiller planter og jord en stor rolle. Indholdet af kulstof i jorden er globalt det dobbelt af atmosfærens indhold af CO<sub>2</sub>. Mange landbrugsjorde taber dog kulstof i form af CO<sub>2</sub> til atmosfæren. Hvis Danmark skal nå målet om en netto-udledning på nul fra landbruget i 2050, skal vi vende processen, så landbrugsjorden i stedet trækker CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren. De fleste nuværende landbrugsafgrøder er etårige, hvilket gør det svært at opbygge kulstof i jorden, da hovedparten af CO<sub>2</sub> bundet i fotosyntesen fjernes med afgrøderne. En løsning kan være at udskifte nogle af de etårige afgrøder med flerårige afgrøder med særligt dybe rødder. Sådanne afgrøder med dybe rødder bringer kulstoffet ned i jordlag, hvor det måske er bedre beskyttet og dermed lagres i længere tid.



Ved hjælp af specialudstyr henter forskerne jordprøver op fra underjorden.  
Foto: Aarhus Universitet

## Kulstof i overjord og underjord

I Danmark indeholder dyrket mineraljord typisk 1-2% organisk bundet kulstof i det øverste jordlag, pløjelaget (0-25 cm). Dette svarer i gennemsnit til et indhold på 63 ton kulstof per hektar. Under det øverste jordlag falder kulstofkoncentrationen hurtigt med dybden, men til gengæld er underjorden mange meter dyb. Derfor findes der typisk mere kulstof i underjorden end i overjorden. Alene i jordlaget fra 25-100 cm findes omkring 79 ton kulstof per hektar i

danske dyrkede jorde. Indlejringen af kulstof i overjord og underjord styres af mekanismer, der omfatter mikrobiel omsætning af kulstof og samspil mellem kulstof og jordens mineralske partikler. Planter tilfører mest kulstof til overjorden, hvor den mikrobielle nedbrydning af det organiske materiale til gengæld sker hurtigt. I underjord er den mikrobielle omsætning af kulstof langsommere, da processerne kan være begrænset af mangel på næringsstoffer, ilt og gunstige temperaturer.

## Forfatterne



Jørgen E. Olesen er professor og institutleder, jeo@agro.au.dk



Lars Elsgaard er lektor, lars.elsgaard@agro.au.dk



Jim Rasmussen er seniorforsker, jim.rasmussen@agro.au.dk



Zhi Liang er postdoc, zhi.liang@agro.au.dk

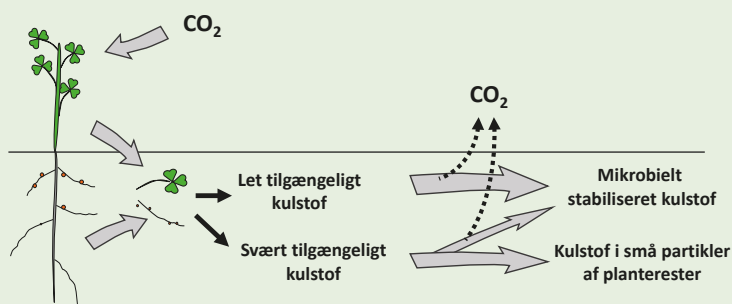


Leanne Peixoto er ph.d.-studerende, leanne.peixoto@agro.au.dk

Alle ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

## Stabilisering af kulstof i jorden

Planter optager CO<sub>2</sub> gennem fotosyntesen og afgiver organisk bundet kulstof til jorden i form af planterester i blade, stængler og rødder, samt såkaldte eksudater fra især rødderne. Disse stoffer nedbrydes af mikroorganismer (bakterier og svampe), hvorved en del kulstof returneres til atmosfæren, mens andet indbygges i mikrobiel biomasse og stabiliseres. Kulstof fra planter kan groft opdeles i let tilgængeligt og svært tilgængeligt. Det let tilgængelige kulstof, som sukkerstoffer, giver et relativt større bidrag til opbygning af mikrobiel biomasse. Mikroorganismer er typisk bundet til jordens ler-mineraler, hvor både levende og død biomasse er

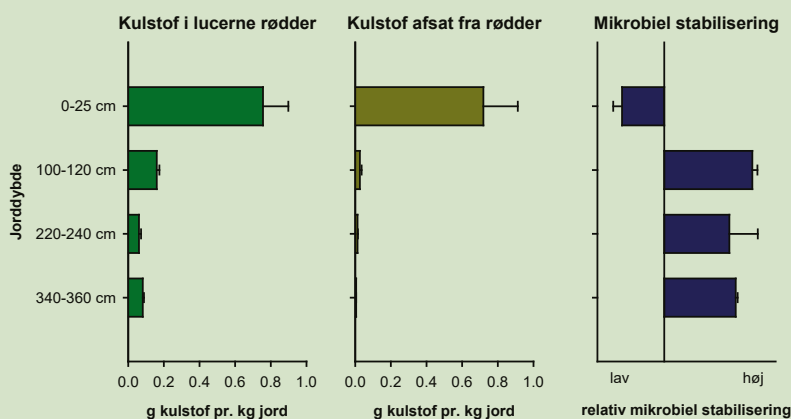


godt beskyttet mod nedbrydning. Denne form for stabilisering af plante-afledt kulstof i levende og død mikrobiel biomasse kaldes den mikrobielle kulstofpumpe. Det svært tilgængelige kulstof, for eksempel de strukturelle dele af plantestænglen,

nedbrydes også af mikroorganismerne – dog langsommere. En del af det svært tilgængelige kulstof fra planterne nedbrydes til små partikler, som beskyttes i jordaggregater (de mindste jordklumper) og derved bidrager til lagring af kulstof.

## Isotoper viser kulstoffets vej i plante-jord systemet

I atmosfæren indeholder CO<sub>2</sub> primært den stabile kulstof-isotop <sup>12</sup>C, men en lille del (1,1%) findes som den stabile <sup>13</sup>C-isotop. Derfor kan man ved at berige CO<sub>2</sub> i atmosfæren med <sup>13</sup>C følge kulstoffets vej ind i planten via fotosyntesen og videre ud i jorden. I markforsøg beriges atmosfæren med <sup>13</sup>C et par gange om ugen ved at lave et lille drivhus i et afgrænset område af marken. Efter en periode med <sup>13</sup>C-mærkning tages der prøver af planterne og jorden. I laboratoriet bestemmes indholdet af <sup>13</sup>C i plantens blade og rødder, og i jorden undersøges indholdet af <sup>13</sup>C i biomolekyler, der er specifikke for blandt andet svampe og bakterier.



Den tunge kulstof-isotop <sup>13</sup>C bruges til at bestemme den relative betydning af kulstof i selve rødderne og det, der er afsat til den omgivende jord. I topjorden udgjorde kulstof i rødderne cirka halvdelen af det tilførte kulstof, mens andelen af kulstof i rødderne steg med jorddybden. <sup>13</sup>C i de specifikke biomolekyler viste, at det rodafsatte kulstof i høj grad var blevet mikrobielt stabiliseret i de dybe jordlag.

### Potentiale for lagring af kulstof i dybe jordlag

Det har vist sig vanskeligt at øge kulstoflagringen i topjorden i dyrket jord, hvor der oftest tilføres mindre kulstof i planterester og rødder end i naturlige økosystemer. Det har ført til spekulationer om, hvorvidt det er muligt at øge kulstoflagringen i dybe jordlag (typisk dybere end 1 meter), hvor betingelser for stabilisering af kulstof er anderledes end i topjorden. Lagring af kulstof i dybe jordlag kræver i første række, at der afsættes kulstof

med rødder i disse jordlag. Her er der stor variation mellem plantearter, og det er typisk kun flerårige afgrøder, der når at sætte meget dybe rødder. Langvarig lagring af kulstof kræver yderligere, at det stabiliseres via mikrobiel omsætning. Der findes kun meget få studier af begge disse processer, og potentialet for kulstoflagring i dybe jordlag er stort set ukendt. I DeepFrontier-projektet undersøgte vi, hvor meget kulstof, der blev afsat fra dybe rødder, og hvor godt dette kulstof blev stabiliseret i dybe jordlag.

### Kulstof i dybe jordlag

Planter med dyb rodvækst, for eksempel lucerne (*medicago sativa*), kan afsætte kulstof i dybder ned til flere meter. For at følge kulstofoptaget via fotosyntesen dyrkes planten i en atmosfære, hvor CO<sub>2</sub> er beriget med den tungere kulstofisotop <sup>13</sup>C. Mængden af <sup>13</sup>C, der transporteres til dybe rødder, kan derefter bestemmes, ligesom man kan bestemme mængden af <sup>13</sup>C, der har forladt rødderne og findes ude i jorden. For at forstå, om kulstoffet i de dybe

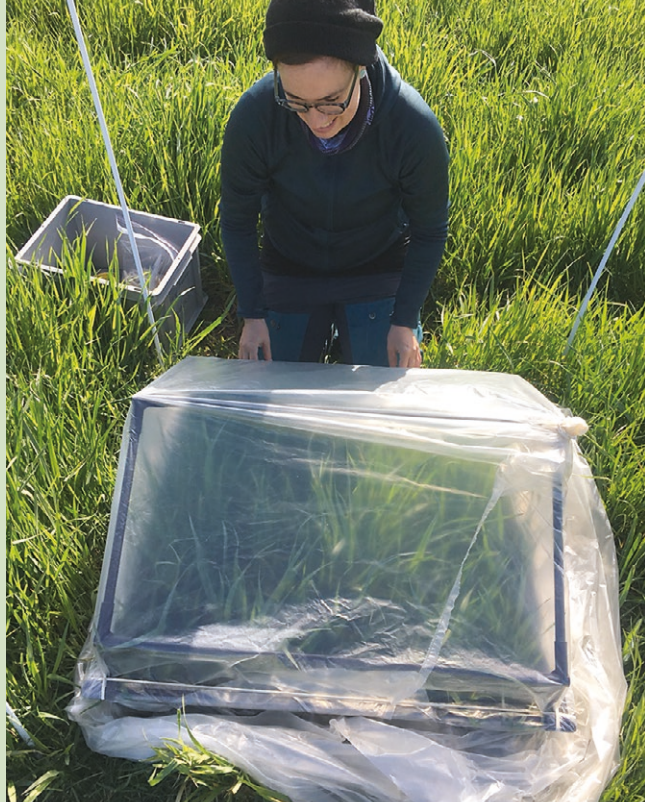
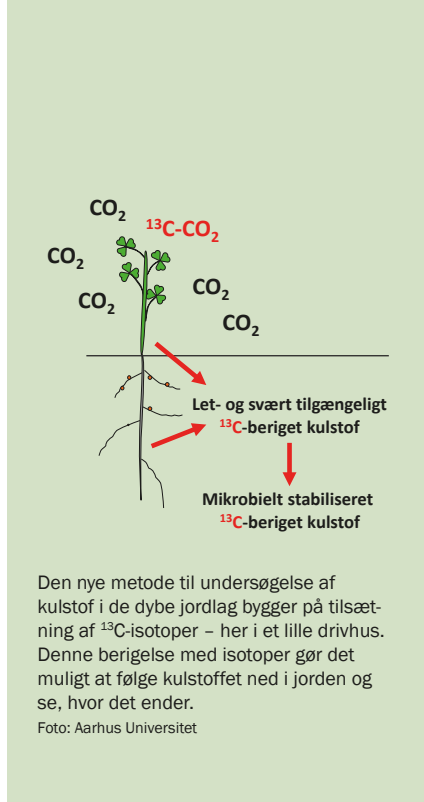
jordlag er beskyttet, skal omsætningen og indbygningen af kulstof i mikroorganismene bestemmes. Dette gøres ved at følge indbygningen af  $^{13}\text{C}$  i specifikke biomolekyler, der kan henføres til henholdsvis levende mikrobiel biomasse (fosfolipider i cellemembranen) og til levende og dødt mikrobiel biomasse (amino-sukre i cellevæggen). Ved brug af disse specifikke biomolekyler har vi udviklet en ny beregningsmetode, som fortæller i hvor høj grad kulstof er blevet mikrobielt stabiliseret.

### Lucerne har stort potentiale

I projektet undersøgte vi tre flerårige plantearter for potentialet til at danne dybe rødder ned til fire meters dybde. Ud over lucerne var det skålpilant (*silphium integrifolium*) og kernza (*thinopyrum intermedium*). Rodmængden faldt som ventet med jorddybden for alle tre plantearter. Og for alle tre plantearter faldt betydningen af kulstof afsat fra roden med jorddybden. Lucerne havde generelt den største mængde kulstof både i de dybe rødder og afsat til den omgivende jord. Lucerne havde samtidig den højeste opbygning af kulstof i de specifikke biomolekyler og dermed det højeste potentiale for mikrobiel stabilisering af kulstof i jorden. Resultaterne viste således, at den mikrobielle stabilisering af kulstof stiger med dybden for alle tre plantearter. Studiet understøtter, at det er muligt via valg af afgrøder med særligt dybe rødder at bringe kulstof ned i jordlag, hvor det har en lang opholdstid. Afgrøder med dybe rødder kan derfor være et vigtigt værktøj til at reducere atmosfærens indhold af  $\text{CO}_2$  og dermed mindske landbrugets klimapåvirkning.

### Øget kulstoflagring er udfordrende

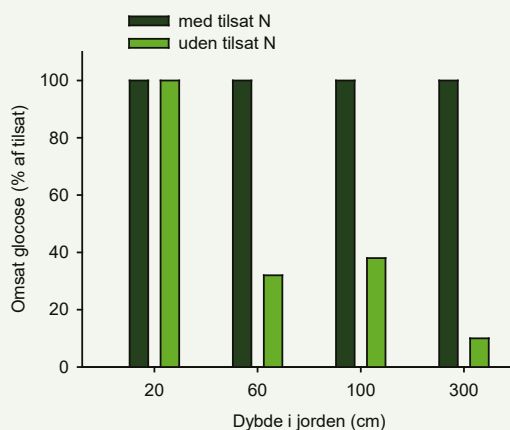
Den globale opvarmning er i gang og har også ført til stigende temperatur i Danmark. Med stigende temperatur øges nedbrydningen af jordens pulje af organisk stof, også i danske landbrugsjorde. Dette kan i sig selv udgøre en selvforstærkende effekt i klimasystemet. Noget af dette kan modvirkes, hvis mere



## Omsætning af glucose

Næringsstoffer som kvælstof og fosfor er vigtige byggesten i levende organismer som bakterier, der har et mængdemæssigt forhold mellem kulstof og kvælstof på omkring 5 til 1 i deres biomasse. Det betyder, at mangel på kvælstof kan begrænse den mikrobielle biomasse og aktivitet og dermed omsætningen af kulstof. Glucose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) er sukkerstof, som er let nedbrydeligt, og omsættes til  $\text{CO}_2$  og mikrobiel biomasse i løbet af timer til døgn i en almindelig overjord. I forsøg med tilsætning af glucose til underjord var omsætningen kraftigt reduceret, og selv efter 40 dage kunne det meste af den tilsatte glucose genfindes i jorden. I den samme underjord, hvor der samtidigt blev tilsat kvælstof, blev glucose omsat lige så godt som i overjorden. Det betyder, at det mikrobielle potentiale var tilstede, men begrænset af mangel på kvælstof.

Omsætning af glucose i overjord (20 cm) og underjord (60, 100 og 300 cm). Kun 10-30% af den tilsatte glucose blev omsat i underjorden, når der ikke samtidig blev tilført kvælstof (N). Ved tilsætning af N blev glucose omsat lige godt (100%) i overjord og underjord.



kulstof lagres i dybe jordlag, hvor de globale temperaturstigninger slår langsommere igennem. Det forudsætter dog, at landbrugets dyrkningssystemer inkluderer afgrøder med dybe rødder, og at disse rødder faktisk afsætter betydende mængder kulstof i underjorden. Det kan nok kun lade sig gøre, hvis

landbruget i højere grad dyrker flerårige afgrøder, men selv blandt flerårige afgrøder er der stor variation. Vi kender alt for lidt til betydningen af artsvalg og genetisk variation for mulighederne for kulstoflagring i underjorden, men det vil mere forskning indenfor området kunne afklare.

### Videre læsning

[projects.au.dk/deepfrontier](https://projects.au.dk/deepfrontier)

Liang, C., Schimel, J.P., Jastrow, J.D., 2017. The importance of anabolism in microbial control over soil carbon storage. *Nature Microbiology* 2, 17105.

Liang, Z., Olesen, J.E., Jensen, J.L., Elsgaard, L., 2019. Nutrient availability affect carbon turnover and microbial physiology differently in topsoil and subsoil under a temperate grassland. *Geoderma* 336, 22-30.

Thorup-Kristensen, K. et al., (2020). Digging deeper for agricultural resources, the value of deep rooting. *Trends in Plant Science* 25, 406-417.

Wordell-Dietrich, P., Don, A., Helfrich, M., 2017. Controlling factors for the stability of subsoil carbon in a Dystric Cambisol. *Geoderma* 304, 40-48.

BLIV  
KLOGERE  
PÅ DIN OPLEV  
FREM TID EN  
VIDEREGÅENDE  
UDDANNELSE

UGE 43



LÆS MERE OG ANSØG PÅ  
**STUDIEPRAKTIK.NU**

ANSØG I  
STARTEN AF  
SEPTEMBER



# AT EKSPLODERE ELLER AT IMPLODERE?

Opdagelsen af, at en "forbudt" kernefysisk proces med uventet effektivitet kan transformere grundstoffet neon til fluor, hjælper os med at forstå hvilken skæbne der venter de middeltunge stjerner i vores Galakse.

**S**tjerner følger i modsætning til os mennesker en forudsigelig bane gennem livet, som primært bestemmes af stjernens masse ved dens tilblivelse. Tunge stjerner med en masse på over 11 gange solens lever et kort og turbulent liv efter forskriften "lev stærkt – dø ung", der slutter med en spektakulær eksplosion – en såkaldt kerne-kollaps supernova. Lette stjerner med en masse på under 7 gange solens lever derimod et længere og noget

mere afdæmpet liv og bliver i deres alderdom til hvide dværgstjerner. Men hvad så med de middeltunge stjerner med en masse på mellem 7 og 11 gange solens? Den gåde har vi fysikere ikke haft held med at løse endnu, men vi er nu kommet et skridt tættere på svaret.

**Tunge og lette stjerners endeligt**  
Stjerner tilbringer det meste af deres liv med at omdanne brint til helium. Ved disse fusionsprocesser frigøres den energi, der gør det

muligt for stjernen at opretholde en tilstrækkelig høj indre temperatur – og dermed tryk – til at modstå tyngdekraften. Når brinten er brugt op, får tyngdekraften overtaget. Stjernens kerne trækker sig sammen, og temperaturen i stjernens indre stiger. Sammentrækningen fortsætter, indtil temperaturen bliver høj nok til, at helium kan fusionere til kulstof og ilt, hvormed en ny ligevægt etableres. Tunge stjerner gennemgår en række sådanne forbrændings-sta-

Forfatteren



Oliver Kirsebom var frem til 2018 ansat som adjunkt på Institut for Fysik og Astronomi på Aarhus Universitet, hvor han især beskæftigede sig med eksperimentel kerneastrofysik. I dag bestrider Oliver en stilling som senior staff scientist på Institute for Big Data Analytics på Dalhousie University i Canada, hvor han arbejder med anvendelser af neurale netværk indenfor marinbiologi og oceanografi. [oliver.kirsebom@dal.ca](mailto:oliver.kirsebom@dal.ca)

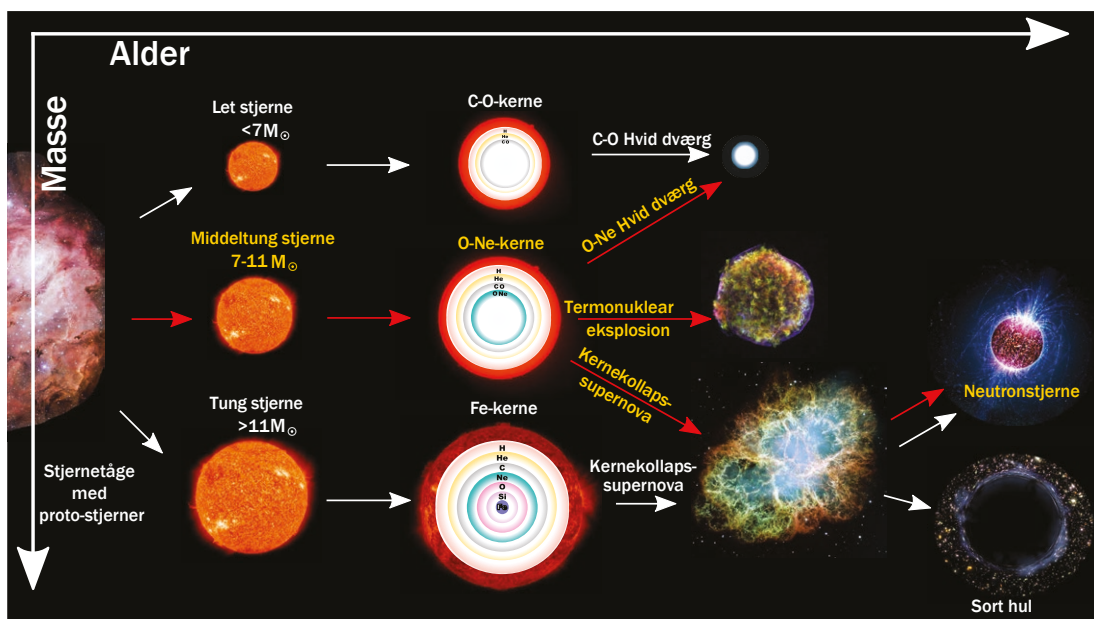
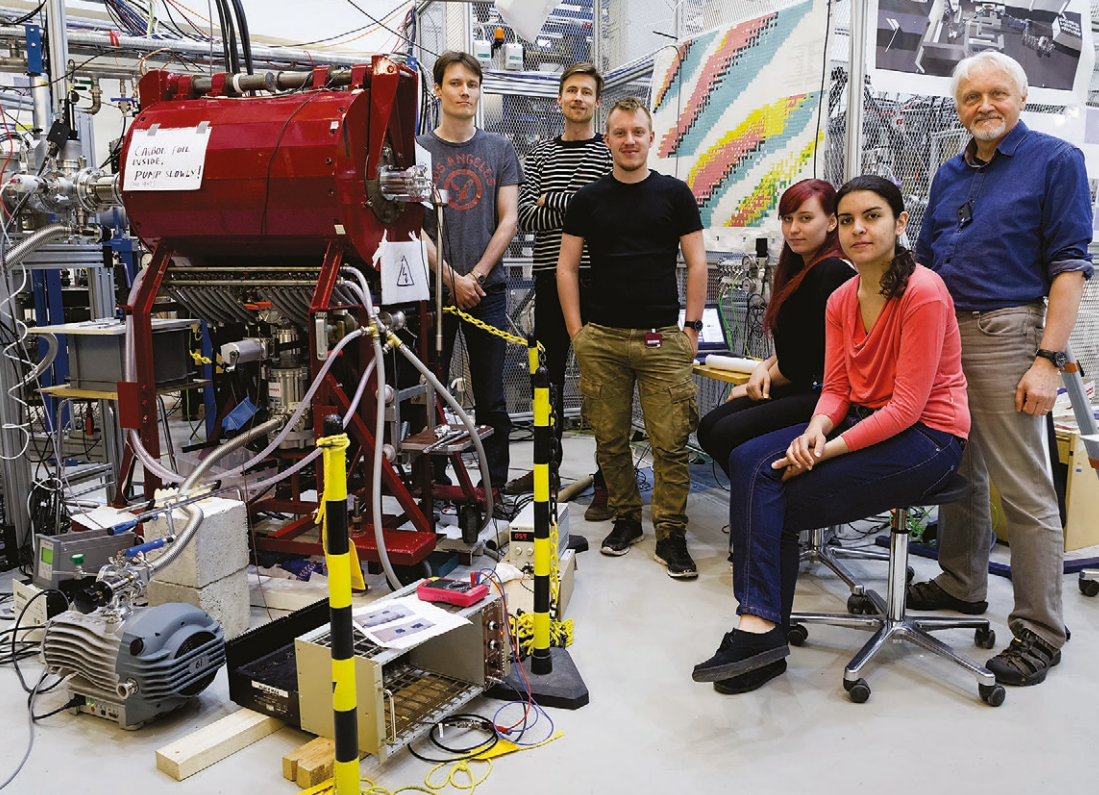


Diagram over stjerneudvikling, hvor M<sub>☉</sub> er solens masse. De røde pile viser de mulige udviklingsforløb for de middeltunge stjerner, som beskrevet i teksten: "Den lette udvej" hvor stjernen bliver til en hvid dværg bestående af ilt (O) og neon (Ne), "den termokleare udvej" hvor stjernen sønderriver stjernen i en termokleare supernova, og "den tunge udvej" hvor stjernen dør i en kerne-kollaps supernova, der efterlader en neutronstjerne.



På billedet ses en del af det eksperimentelle team stående ved siden af det magnetiske spektrometer, som blev brugt til at måle den forbudte overgang i betahenfaldet af  $^{20}\text{F}$ . Billedet er taget i accelerator-laboratoriet på universitet i Jyväskylä, Finland, hvor eksperimentet blev udført. Fra venstre mod højre: Sami Rinta-Antila, Oliver Kirsebom (AU), Michael Munch (AU), Marjut Hukkanen, Laetitia Canete, Wladyslaw Trzaska. Fotograf: Wladyslaw H. Trzaska (selvudløser)

dier, indtil der til sidst ikke er mere kerneenergi at hente i fusionsprocesserne. Stjernen kapitulerer til tyngdekraften og dør i en gigantisk eksplosion, hvor stjernens kerne kolliderer til en neutronstjerne eller et sort hul. Samtidig blæses de grundstoffer, som fusionsprocesserne har frembragt, ud i rummet, hvor de blander sig med den eksisterende interstellare gas og fornyer galaksens grundstofsammensætning.

Anderledes går det de lette stjerner. Når al helium er brugt op, trækker stjernens kerne sig sammen, men temperaturen bliver aldrig høj nok til at antænde den næste forbrændingsproces, fusion af kulstof. Kvantemekanikken lægger sig nemlig i vejen. I takt med at stjernens kerne trækker sig sammen, stiger ikke kun temperaturen, men også tætheden af stof. Imidlertid er der en nedre grænse for, hvor tæt vi kan pakke atomare partikler – det følger af det såkaldte usikkerhedsprincip formuleret af fysikeren Heisenberg, som siger at en kvantepartikels position ikke kan bestemmes til større nøjagtighed end  $\hbar/\Delta p$ , hvor  $\hbar$  er Plancks konstant (divideret med  $2\pi$ ), og  $\Delta p$  betegner nøjagtigheden, hvormed partiklens impuls er kendt. Elektronerne er de første til at ramme denne kvantemekaniske grænse,

og når det sker, modsætter de sig yderligere sammentrækning med det, der betegnes udartningstryk. Således undgår de lette stjerner at gå til grunde i en kerne-kollaps supernova. I stedet blæser kraftige solvinde stjernens ydre lag ud i rummet og efterlader den udartede kerne, en hvid dværgstjerne bestående af kulstof og ilt.

### Hvilke udveje har de middeltunge stjerner?

De middeltunge stjerners udvikling minder meget om de lette stjerners udvikling med den forskel, at de middeltunge stjerner formår at antænde og forbrænde kulstof, inden udartningstrykket sætter ind – det er i hvert fald, hvad de astrofysiske stjernemodeller tilsiger. Men hvad der sker efterfølgende er usikkert. Der tegner sig tre muligheder: "Den lette udvej": Kraftige solvinde blæser stjernens ydre lag ud i rummet og efterlader den udartede kerne, en hvid dværgstjerne bestående primært af ilt og neon. "Den tunge udvej": Stjernen dør i en kerne-kollaps supernova, der efterlader en neutronstjerne. "Den termonukleare udvej": Den udartede kerne påbegynder et kollaps, men inden det kan fuldbyrdes, antændes en eksplosiv forbrænding af ilt, der sønderriver stjernen i en termonuklear supernova og efterlader en hvid dværgstjerne bestående af ilt,

neon og en række fusionsprodukter såsom jern.

Blandt de forskere, der beskæftiger sig med problemet, er den herskende opfattelse, at en stor andel af de middeltunge stjerner sandsynligvis vælger den mere stilfærdige, lette udvej, men samtidig forventes det, at en ikke ubetydelig andel eksploderer ved enten at følge den tunge udvej eller den termonukleare udvej. Men hvilken?

### Et spørgsmål om elektronindfangning

For at svare på det spørgsmål, er vi nødt til at kigge nærmere på bestemte kernefysiske processer, der aktiveres i stjernens udartede kerne, når en tilstrækkelig høj massetæthed indtræffer. Stjernens kerne består som tidligere nævnt hovedsageligt af ilt og neon, nærmere bestemt isotoperne  $^{16}\text{O}$  og  $^{20}\text{Ne}$ . I takt med, at massetætheden øges, vokser udartningstrykket i stjernens kerne og dermed elektronernes kinetiske energi, indtil elektronerne har tilstrækkelig energi til at omdanne  $^{20}\text{Ne}$  til  $^{20}\text{F}$ . Ved denne proces indfanges en elektron af en  $^{20}\text{Ne}$ -atomkerne, hvorved atomkernen omdannes til  $^{20}\text{F}$ , mens en neutrino udsendes. Den nydannede  $^{20}\text{F}$ -atomkerne indfanger prompte endnu en elektron og omdannes herved til  $^{20}\text{O}$ . Som et led i denne

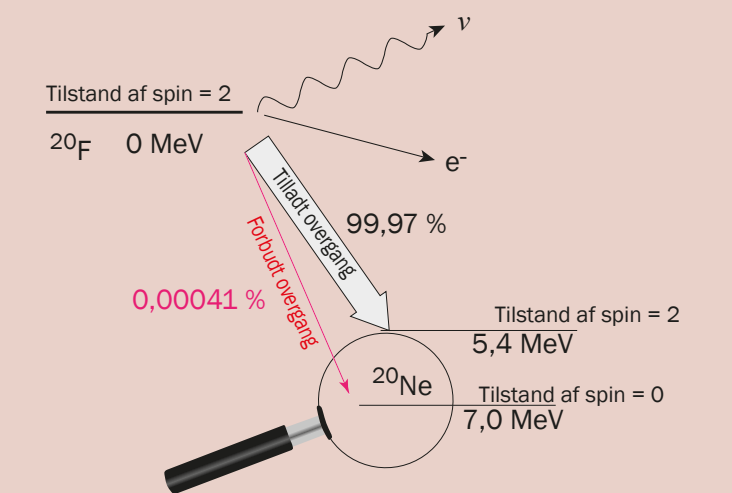
## Forbudte overgange

Atomer kan som bekendt eksistere i en række energitilstande. Tilstanden med lavest energi er stabil og betegnes som atomets grundtilstand. Alle andre tilstande kaldes anslåede og vil med tiden henfalde til grundtilstanden. Det sker typisk ved, at en elektron skifter plads til en orbital med lavere energi under udsendelse af en foton.

Samme princip gør sig gældende for selve atomkernen. Den kan også eksistere i en række anslåede tilstande, der med tiden henfalder til grundtilstanden. En væsentlig forskel er energiskalaen: Hvor energiforskellen mellem atomets tilstande typisk er nogle få elektronvolt eller blot brøkdele af en elektronvolt, måles energiforskellen mellem kernens tilstande i hundredetusinder eller endda millioner af elektronvolt. I kernefysik bruges derfor enheden megaelektronvolt til at udmåle energier, ofte forkortet til MeV.

Ikke alle atomkerner har stabile grundtilstande, langt fra. Et eksempel herpå er  $^{20}\text{F}$ , som beta-henfalder til  $^{20}\text{Ne}$  med en halveringstid på 11 sekunder. Ved denne henfaldsproces omdannes en neutron i kernen til en proton under udsendelse af en elektron (betastråling) og en antineutrino med en samlet energi på 5,4 MeV. Dermed er henfaldsprocessen dog ikke helt overstået, for den nyskabte  $^{20}\text{Ne}$  kerne fødes

sekvens af elektron-indfangninger udsendes også en anelig mængde gamma-stråling, der omsættes til varmeenergi i stjernens indre. Således har elektronindfangningsprocesserne to vigtige funktioner: De frigør varmeenergi og berøver samtidig stjernen de elektroner, der hjælper med at modstå tyngdekraften. Som konsekvens heraf trækker stjernens kerne sig sammen, massetætheden øges og raten af elektronindfangninger skyder i vejret. På kort tid vokser temperaturen i stjernens kerne til 1,5 milliarder Kelvin, og når det sker, begynder



nemlig i en anslået tilstand. Først efter at have udsendt en foton med energi på 1,6 MeV, falder  $^{20}\text{Ne}$  kernen til ro i sin grundtilstand. Når  $^{20}\text{Ne}$ -kernen ikke fødes i sin grundtilstand, skyldes det, at denne overgang er "forbudt". Det til trods for at overgangen har en større energigevinst (7,0 MeV) end overgangen til den anslåede tilstand (5,4 MeV) og derfor burde synes mere gunstig.

Dette hænger sammen med, at en atomkernes tilstande ikke alene er karakteriseret ved deres forskellige energier, men også ved deres kvantiserede impulsmomenter (også kaldet spin). En grundlæggende egenskab ved beta-henfald er, at det har vanskeligt ved at ændre kernens impulsmoment med mere end 1 kvante-enhed. (Det skyldes fundamentalt set, at de to partikler, der udsendes

ved et betahenfald, en elektron og en neutrino, er meget lettere end atomkernen og derfor giver en meget begrænset rekyleffekt.) Betahenfald vil derfor som regel forbinde kerne tilstande med samme impulsmoment eller impulsmomenter, der kun afviger med en enkelt kvante-enhed. Sådanne overgange kaldes for "tilladte" overgange. Overgange, der forbinder tilstande med større spring i impulsmoment, kaldes "forbudte". Det betyder ikke, at de ikke finder sted, men sandsynligheden er kraftig reduceret sammenlignet med tilladte overgange. Grundtilstanden i  $^{20}\text{F}$  og den anslåede tilstand i  $^{20}\text{Ne}$  har begge et impulsmoment på 2 enheder, mens grundtilstanden i  $^{20}\text{Ne}$  har et impulsmoment på 0, hvilket forklarer hvorfor overgangen til grundtilstanden er forbudt og kun observeres i ringe grad.

$^{16}\text{O}$ -atomkernerne at fusionere, hvormed varmeproduktionen for alvor løber løbsk i en termonuklear eksplosion.

### Nye resultater tippes vægtskålen

Titusinde-kroners-spørgsmålet er nu, om ilt-forbrændingen frigør nok energi til at bremse den igangværende sammentrækning, eller om tyngdekraften bevarer overtaget, så stjernen fortsætter med at trække sig sammen efter ilt-forbrændingen er udsukt. Svaret på det spørgsmål viser sig at afhænge af, hvor tidligt

$^{20}\text{Ne}$  begynder at indfange elektroner. For stjernen er det som en dans på en knivsæg. Sker indfangningen, mens massetætheden fortsat er under 10 milliarder gram per kubikcentimeter, vinder ilt-forbrændingen, og stjernen sønderrives i en termonuklear supernova ("den termonukleare udvej"). Sker det senere, får tyngdekraften overtaget, og stjernen dør i en kerne-kollaps supernova ("den tunge udvej").

Tidligere i år publicerede vi sammen med kolleger fra en række andre lande nye resultater, der viser,



På billedet ses forfatteren i gang med at konfigurere datatagningssystemet som forberedelse til en 24-timer lang test af strålingsdetektoren, der blev anvendt til at detektere de høj-energetiske elektroner fra den forbudte overgang. Billedet er taget 1.444 meter under jordens overflade på bunden af Pyhäsalmi-minen i Finland. Her har man indrettet et forskningslaboratorium ved navn Callio Lab, hvor højpræcisionsmålinger kan udføres uden baggrundsstøj fra kosmisk stråling.

Foto: Wladyslaw H. Trzaska

at elektron-indfangningen aktiveres ved en lavere massetæthed, end man hidtil havde troet muligt. Denne opdagelse tipper vægtskålen i ilt-forbrændingens favør og ændrer vores forståelse af de middeltunge stjerners udviklingsforløb. Hvor det længe har været den gængse opfattelse, at de middeltunge stjerner kolliderer til neutronstjerner, tror vi nu, at mange af dem eksploderer i termionukleare supernovaer, der efterlader en hvid dværgstjerne bestående af ilt, neon og en række fusionsprodukter såsom jern.

Helt konkret viser de nye resultater, at  $^{20}\text{Ne}$  kan omdannes til  $^{20}\text{F}$  ved en såkaldt forbudt overgang (se faktaboks), der aktiveres ved en elektron-energi på 7,0 millioner elektronvolt (MeV) svarende til energiforskellen mellem de to atomkerners grundtilstande. Eftersom denne overgang er forbudt, har man længe troet, at den ingen rolle spillede. I stedet har man regnet med, at elektronindfangningen foregik ved en tilladt overgang til den første anslåede tilstand i  $^{20}\text{F}$ , hvilket dog

kræver en noget højere energi på 8,1 MeV og derfor først muliggøres ved højere massetætheder.

### Jordiske målinger

For at afgøre, om den forbudte overgang spiller en rolle for elektronindfangningen i middeltunge stjerner, satte vi os for at måle overgangen i et laboratorieeksperiment, hvilket ingen tidligere var lykkedes med. Vores strategi var at betragte den tids-omvendte proces, hvor  $^{20}\text{F}$  beta-henfalder til  $^{20}\text{Ne}$  og eftervise eksistensen af den forbudte overgang mellem de to kerners grundtilstande i dette radioaktive henfald.

Det forbudte betahenfald til grundtilstanden producerer elektroner med energier op til 7,0 MeV, mens det tilladte – og dermed langt mere sandsynlige – henfald til den første anslåede tilstand i  $^{20}\text{Ne}$  kun producerer elektroner med energier op til 5,4 MeV (se faktaboks). Udfordringen var derfor at påvise eksistensen af elektroner med energier over 5,4 MeV og måle, hvor hyppigt, de blev udsendt.

Da  $^{20}\text{F}$  henfalder med en halveringstid på bare 11 sekunder, kan henfaldsprocessen kun studeres i specielt indrettede acceleratorlaboratorier, hvor radioaktive isotoper produceres og på kort tid transporteres til en strålingsdetektor. Vi udførte vores eksperiment på et laboratorium i Finland, som er et af få i verden, der kan producere radioaktivt  $^{20}\text{F}$  med tilstrækkelig renhed og intensitet til at muliggøre målingen af den forbudte overgang.

Under eksperimentet, som varede en uges tid, blev  $^{20}\text{F}$  ionerne transporteret til vores specialdesignede strålingsdetektor, som bestod af et magnetisk spektrometer til at frasortere lavenergi-elektroner og fotoner samt en plastik scintillator til at måle energien af de høj-energi elektroner, der slipper gennem spektrometret. Således lykkedes det os at detektere 55 elektroner med en energi på mellem 5,4 og 7,0 MeV, og da vi samtidig kunne påvise, at kosmisk stråling kun kunne redegøre for  $30 \pm 3$  af disse detektioner, var missionen lykke-



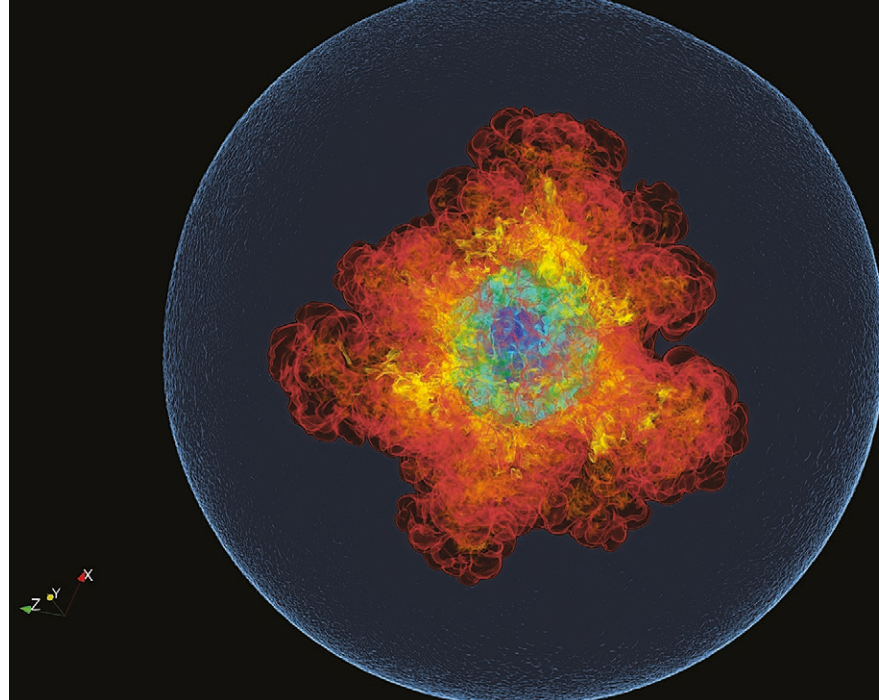
des. Baseret på vores observationer kunne vi konkludere, at 1 ud af hver 250.000 henfald følger den forbudte rute til grundtilstanden. Selvom det ikke lyder af meget, er det faktisk en overraskende stor procentdel, da vi kun kender til én anden forbudt overgang med en ligeså stor styrke.

### Konsekvenser for stjerneudvikling

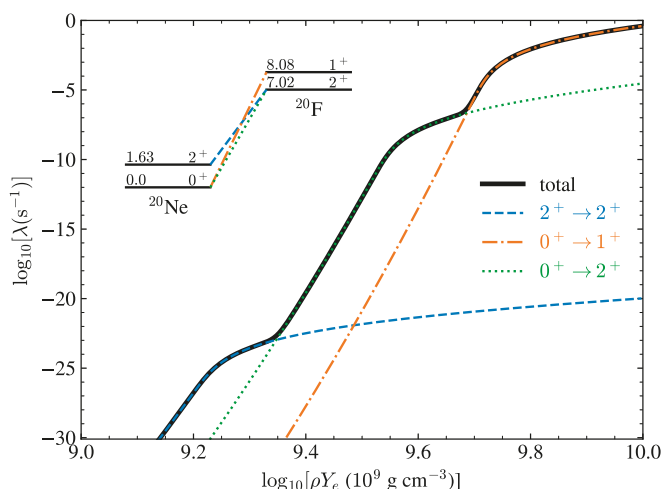
I samarbejde med teoretiske kolleger i Tyskland og USA har vi udført numeriske beregninger for at forstå, hvilke konsekvenser vores eksperimentelle opdagelse har for de middeltunge stjerner udvikling. Her ser vi, at den forbudte overgang gør det muligt for  $^{20}\text{Ne}$  at indfangne elektroner på et tidligere stadie. Dermed antændes ilt-forbrændingen ved en lavere massetæthed, den igangværende sammentrækning bremses, og stjernen eksploderer i en termonuklear supernova. Tilbage efterlades en hvid dværgstjerne sammensat af ilt, neon og en række fusionsprodukter, mens resten af stjernens bestanddele blæses ud i verdensrummet, hvor det blander sig med den interstellare gas.

Nu mangler vi bare astronomiske observationer til at efterprøve vores forudsigelser. Desværre har vi ikke en entydig forventning om, hvordan disse termonukleare supernovaer vil tage sig ud på nattehimlen. Det kan gøre det vanskeligt for astronomer at skelne dem fra de mange andre typer supernovaer, der findes. Til gengæld kender vi ikke til andre astrofysiske processer, der resulterer i hvide dværgstjerner med samme sammensætning af ilt, neon og andre fusionsprodukter. Hvis en sådan dværgstjerne en dag observeres, vil det give stærk evidens for modellen.

Indtil videre er der kun indirekte evidens til at bestyrke vores tro på modellen. For eksempel forventes den termonukleare supernova at producere store mængder af bestemte isotoper såsom  $^{46}\text{Ca}$ ,  $^{50}\text{Ti}$  og  $^{54}\text{Cr}$ , der kun dannes i begrænsede



Resultat af en numeriske simulering af en termonuklear supernova igangsat af de "forbudte" elektronindfangninger på  $^{20}\text{Ne}$ . Farvelægningen viser isotopsammensætningen af de grundstoffer, som produceres i eksplosionen. I de blå områder finder vi isotoper med en større andel af neutroner end protoner, mens de røde områder indeholder isotoper med en mere balanceret fordeling af neutroner og protoner. Den høje grad af ubalance mellem neutroner og protoner i de blå områder er unik for denne type supernova.



På denne figur ses raten, hvormed  $^{20}\text{F}$  indfangner elektroner ved en temperatur på 400 millioner Kelvin, afbildet som funktion af massetætheden i stjernens indre. Bemærk, at begge akser er logaritmiske. Den grønne, prikkede kurve viser bidraget fra den forbudte overgang. Det ses, at indfangningsraten i en periode øges med op til 8 størrelsesordere (dvs. en faktor 100.000.000!) sammenlignet med den rate, man får, når man ser bort fra den forbudte overgang.

mængder i andre type stjerne-eksplosioner. Analyser viser, at de termonukleare supernovaer kun behøver at udgøre cirka 0,5% af det samlede antal supernovaer i vores galakse for at kunne forklare den relativt høje forekomst af netop disse tre isotoper.

Endelig er der spørgsmålet om konvektion. Selvom vi nu har fået styr på elektronindfangnings-

processerne, forbliver det uklart, om varmeproduktionen er kraftig nok til at sætte gang i konvektion i stjernens indre. Vores nuværende modeller antager, at det ikke er tilfældet. Tager vi fejl, kan det betyde, at ilt-forbrændingen antændes senere, og stjernen trods alt kolliderer til en neutronstjerne. Her sætter vi vores lid til, at bedre modeller for konvektion i stjerner snart ser dagens lys. ■

Figuren er fra S. Jones et al., *Astron. Astrophys.* 622, A74 (2019).

Figuren er fra Kirsebom et al., *Phys. Rev. Lett.* 123, 262701 (2019).

Videre læsning O. S. Kirsebom et al., *Phys. Rev. Lett.* 123, 262701 (2019).

O. S. Kirsebom et al., *Phys. Rev. C* 100, 065805 (2019).

Forskningsarbejdet beskrevet i denne artikel blev muliggjort takket være et legat fra Villum Fonden.

En kunstners visualisering af jernmeteoritten på vej mod nedslagsstedet på Indlandsisen i Nordvestgrønland.  
Illustration: NASA

# METEORKRATER I GRØNLAND KAN FORTÆLLE OM KLIMA

**Danskere forskere vil bestemme den præcise alder på Hiawatha-krateret i Grønland, som kan være verdens yngste, store meteorkrater. Det vil kunne give ny og vigtig viden om, hvordan meteornedslag har påvirket Jordens klima i forhistorien – og måske rumme en verdenssensation.**

**P**å et tidspunkt for ikke så forfærdeligt længe siden kom en 12 milliarder ton stor jernklump flyvende henover klodens nordlige nattehimmel og lyste den op i et skarpt, hvidt lys. Meteoren, som var 1,5 kilometer i diameter, fløj med svimlede 20 kilometer i sekundet, og mens den skar sig vej ned gennem atmosfæren, blev den opvarmet i en sådan grad, at jernet først smeltede og siden fordampede. Alt sammen inden meteoren overhovedet nåede at ramme Jorden.

Jernklumpen havde så meget fart på, at den foran sig skabte en voldsom trykbølge, der smadrede ned i Grønland med en sådan kraft, at den efterlod et syv kilometer bredt og flere kilometer dybt hul i iskappen, før den fortsatte sin destruktive færd ned i klippeundergrunden.

Energi svarende til 47 millioner Hiroshimabomber blev udløst på et splitsekund.

De apokalyptiske ødelæggelser var dog langt fra slut. Nedslaget sendte milliarder af ton klippemateriale og støv op i atmosfæren og sendte chokbølger gennem klipperne, som i en radius af 15 kilometer fra nedslaget rejste sig i op imod 10 kilometers højde. Her stod kilometer efter kilometer af massive bjergkæder, der var blevet formet på få sekunder, og dirrede. De skælvede et øjeblik, før bjerg efter bjerg på størrelse med Mount Everest kollapsede oven på sig selv, skabte store fordybninger i undergrunden og udvidede nedslagskrateret efter meteoren fra syv kilometer i diameter til 31 kilometer.

Da støvet efter nedslaget havde lagt sig, havde jernmeteoren efterladt et

gigantisk hul i Inglefield Land i det nordvestlige Grønland. På bunden af krateret lå smeltede klippestykker og ulmede rødt i mørket.

Hvornår skete denne katastrofale begivenhed, der udslettede alt liv inden for en radius af mange hundrede kilometer og formentlig kastede kloden ud i en langvarig klimakatastrofe efterfølgende? Det ved man faktisk ikke endnu, men det skal danske forskere undersøge i et nyt forskningsprojekt.

»Nedslagskrateret er det yngste større nedslagskrater på Jorden og kan forhåbentlig fortælle os i meget høj opløsning, hvordan klimaet reagerer efter et stort meteornedslag. Hvis det er under 100.000 år gammelt, vil det i kombination med iskerner kunne give os helt uøhrt detaljeret information om, hvordan meteornedslag påvirker klimaet

## Om forfatteren

Af Kristian Sjøgren, videnskabsjournalist. [ksjoegren@gmail.com](mailto:ksjoegren@gmail.com)



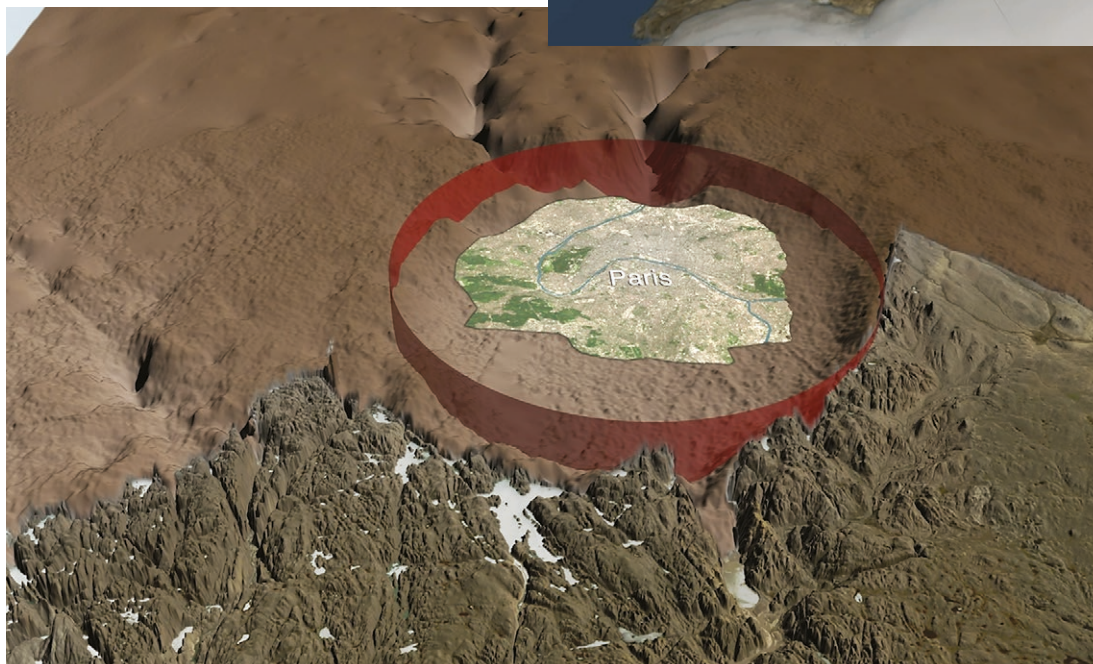
**DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND**  
INDEPENDENT RESEARCH  
FUND DENMARK

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

Danmarks Frie Forskningsfond dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Danmarks Frie Forskningsfond består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence. Formand for Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers er professor ved Aarhus Universitet, Michael Møller Hansen. Læs mere på [www.dff.dk](http://www.dff.dk)



Placeringen af Hiawatha-meteorkrateret i Inglefield Land i det nordvestlige Grønland. Grafik: Statens Naturhistoriske Museum.



↑ Meteorkrateret er opkaldt efter Hiawathagletscheren. Krateret blev opdaget under en semi-cirkulær isrand, og den er synlig i isoverfladen selvom isen er mere end 1000 m tyk.

Krateret er 31 km i diameter og har en tydelig kraterring samt en central dome, som er typisk for store meteorkrater. Til sammenligning er størrelsen på byen Paris også vist. Illustration: NASA

med en opløsning fra år til år,« fortæller forskeren, der skal kortlægge meteorkraterets alder, professor Nicolaj Krog Larsen fra Globe Institute, Sektion for Geogenetik, ved Københavns Universitet.

### Krater først opdaget i 2015

Opdagelsen af krateret, der i dag kendes som Hiawatha-krateret, er faktisk spritny. Selvom krateret er blandt verdens 25 største meteorkrater, overså forskere det alligevel indtil for ganske nylig.

Uden for Geologisk Museum på Københavns Universitet ligger ganske vist en stor og flere tons tung jernmeteorit, der blev fundet ikke langt fra Hiawatha-krateret. Forskere har siden fundet af jernmeteoritten spekuleret over, hvor mon det krater, som burde være blevet formet i forbindelse med jernmeteorittens ankomst til Jorden, var henne.

En dag i 2015 kiggede Nicolaj Krog Larsen med kolleger på nogle helt nye topografiske kort af landskabet under Indlandsisen i Grønland. Kortene var blevet lavet ved hjælp af et fly, som med en radar var fløjet ind over Indlandsisen for at kortlægge undergrunden under den massive iskappe.

Da forskerne kiggede på kortene, så de noget, som fik dem til at spærre øjnene op. Oppe i det nordvestligste hjørne og helt ude ved kysten i en meget ufremkommelig egn af den store, kolde ø, var et perfekt, cirkelformet krater. Og det var ikke bare et lille cirkelformet krater. Det var et gigantisk hul.

Selve kraterets perfekte stand, der meget klart viser, at det stammer fra et meteornedslag, pegede også i en retning, som fik forskerne til at holde vejret: Det måtte være ekstremt

ungt og formentlig være det yngste store meteorkrater på Jorden.

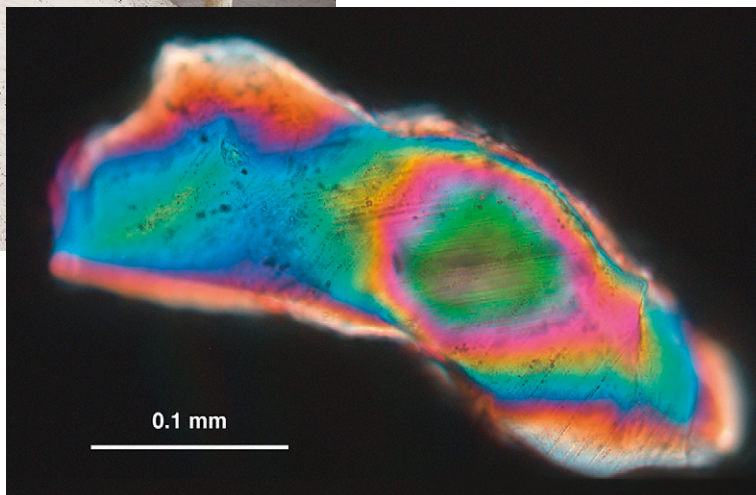
Nicolaj Krog Larsen forklarer, at meteorkrater med tiden eroderer, så de meget visuelle tegn forsvinder. Er et krater eksempelvis 50 til 100 millioner år gammelt, er de fleste tegn på jordoverfladen forsvundet, og man kan kun finde krateret ved at scanne undergrunden med geofysiske metoder eller ved at studere mineraler i undergrunden.

I forbindelse med fundet af Hiawatha-krateret bekræftede forskerne, at de rent faktisk havde fundet et meteorkrater og ikke et eller andet uforklarligt geologisk fænomen. Det gjorde de ved at tage prøver af sandkorn fra smeltevandet ud for krateret. Disse prøver af sandkorn viste, at mineralerne i sandkornene havde såkaldte chokolameller, der er strukturer, som kun dannes i for-



Kurt H. Kjær indsamler prøver af smeltevands-sand foran Hiawatha-gletscheren. Sandet, som gletscheren har ført med sig fra bunden af meteorokrateret, har givet en rigdom af oplysninger om meteornedslaget. Foto: S. Funder.

Sandkorn af kvarts fra Hiawatha-meteorokrateret gennemsat af choklameller. Choklamellerne ses som tætliggende striber i flere retninger. De er dannet ved ekstrem sammentrykning efterfulgt af ekspansion og varmeudvikling i det første sekund af kraterdannelsen og er et sikkert bevis for chokpå-virkning ved meteoritnedslag. Kvarts er farveløst – farverne skyldes optiske filtre i mikroskopet. Mikroskopfoto: Statens Naturhistoriske Museum.



bindelse med meteornedslag.

Forskerne udførte også geokemiske undersøgelser af stenene, hvilket bekræftede, at meteoren var en jernmeteor.

»Det var et rent tilfælde, at vi fandt det her krater. Jeg arbejder normalt slet ikke med meteorer, men interesserer mig for klimavariationer i geologisk tid, og specielt hvordan Indlandsisen reagerer på klimavariationer. Men pludselig stod vi med en kæmpe opdagelse, som vi selvfølgelig er nødt til at følge til dørs, fordi den også netop kan belyse noget om Indlandsisens fortid,« siger Nicolaj Krog Larsen.

### Meget peger på et ungt meteornedslag

Siden forskerne lavede deres store opdagelse i 2015, har de udført forskellige undersøgelser for at estimere, hvor gammelt meteorokrateret egentlig er. Der er i den sammenhæng flere faktorer, som peger på, at det er ungt.

For det første er det ikke eroderet væk, men eksisterer stadig som

et dybt hul i undergrunden med en meget veldefineret rand. Hullet er i dag dækket fuldstændigt af mere end 1.000 meter is, og via Hiawatha-gletsjeren sendes der smeltevand fra krateret ud i Baffinbugten.

For det andet har forskerne set, at der flyder smeltevand ud fra bunden af krateret. Det tyder på, at der i krateret stadig kan være varmeenergi nok fra nedslaget til at smelte is. Da meteoren smadrede ned i Grønland, efterlod den ikke bare et kæmpe krater, men også en enorm mængde energi i form af varme i undergrunden. Efter sne og is siden hen dækkede Hiawatha-krateret, fungerede det som en dynejakke, der har holdt bunden af krateret lunt lige siden. Ifølge Nicolaj Krog Larsen peger residualvarme på, at meteornedslaget kan være sket inden for de seneste 100.000 år.

For det tredje har forskerne i klippestykker fra kraterkanten fundet indlejringer af typer af træer, der kun har vokset i Grønland inden for de seneste to millioner år. To millioner år lyder måske af meget, men i geo-

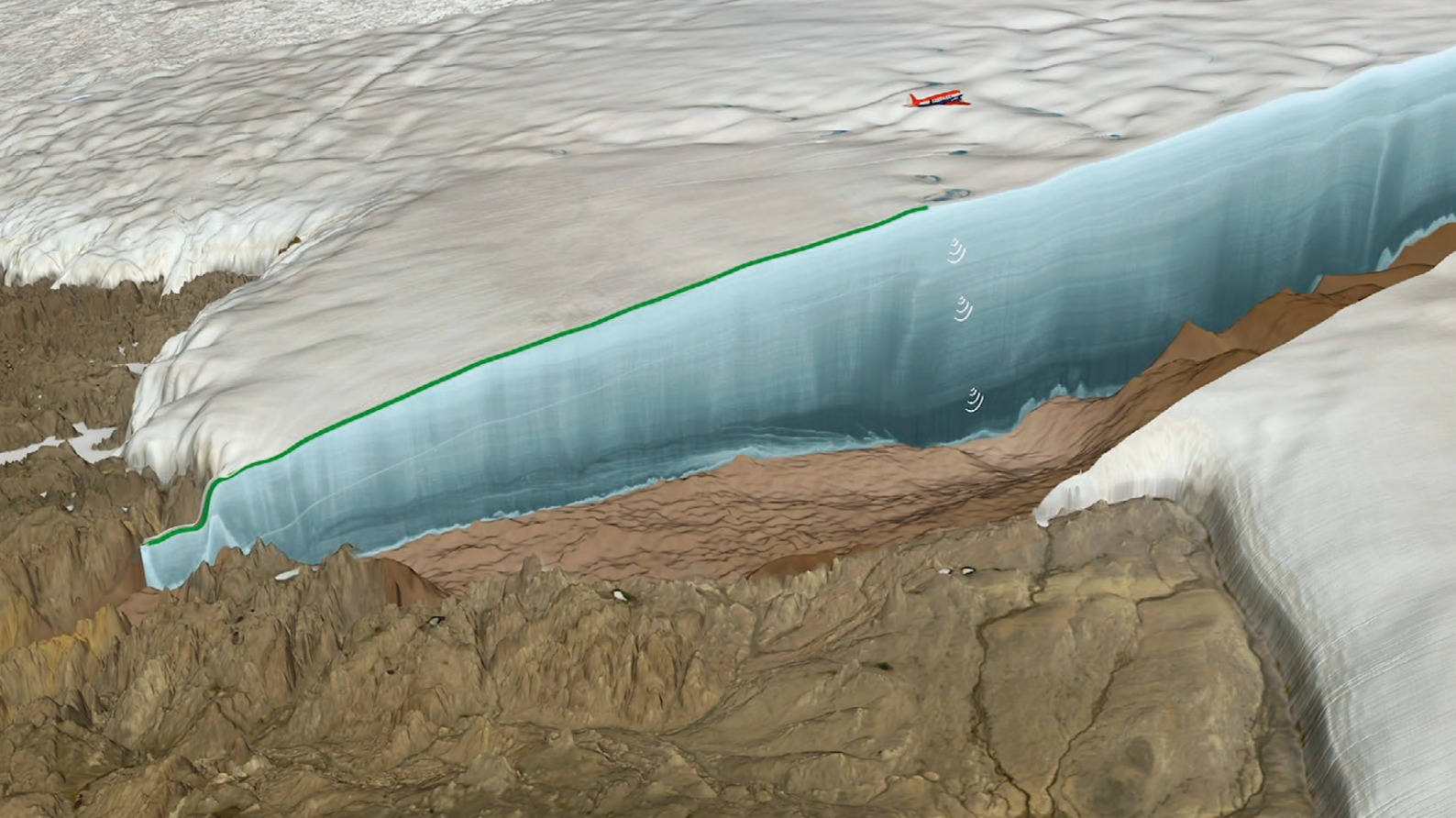
logisk tid er det en halv sommerferie og ikke mere end det.

For det fjerde kan forskerne på radarbillederne over isen i krateret se, at isen i bunden af krateret er forstyrret. Det vil sige, at der på et tidspunkt blev dannet et krater, som gletsjerne i området siden har fyldt med is ved at skubbe det ned i hullet. Den is ligger hulter til bulter i bunden af krateret, mens der ovenover ligger fine og strukturerede lag af is og sne, der er blevet dannet siden hen. Når forskerne tæller lagene af ordnet is og sne, kan de se, at de nederste lag er yngre end 12.800 år.

»Det er mange forholdsvis svage indikatorer på, at krateret er meget ungt, men der er stor usikkerhed i den form for data. Derfor er vi nødt til at lave helt nye analyser af selve nedslagskrateret for at være sikre,« forklarer Nicolaj Krog Larsen.

### Kan være en verdenssensation

Skulle det vise sig, at meteornedslaget er 12.800 år gammelt, vil opdagelsen være intet mindre end en verdenssensation.



Isradarundersøgelser af Hiawatha-meteorokrateret med Alfred Wegener Institutets specialindrettede fly – Polar 6. Isradaren kan måle topografien under isen samt lagdelingen i isen. Undersøgelserne viser, at isen i bunden af krateret er meget forstyrret og ældre end den nuværende mellemistid (11.800 år). Illustration: NASA

For 12.800 år siden – forskere kalder perioden for overgangen til Yngre Dryas – var Jorden i færd med at gå fra den seneste istid og ind i den mellemistid, som vi lever i i dag. Temperaturen steg, iskapperne, der dækkede hele den nordlig halvkugle, trak sig tilbage, og dyr og planter søgte mod nord for at indtage det nye land, som dukkede frem under isen.

Pludselig skete der dog noget, som indtil videre er uforklarligt. Klimaet slog om igen, det blev koldere, isen marcherede endnu en gang mod syd, og i 1.200 år blev Jorden tvunget tilbage til istidslignende tilstande, hvor livet var barsk for dem, som boede længst mod nord.

Mammutterne og andre store pattedyr gik stærkt tilbage i antal, og også de af vores forfædre, som boede længst mod nord, eksempelvis Clovisfolket i Nordamerika, blev bragt på kanten af udryddelse.

Forskere har på forskellige måder forsøgt at forklare, hvad der præcis skete i overgangen til Yngre Dryas. En af disse forklaringer er, at en

enorm smeltevandssø i Nordamerika blev tømt for vand, der flød ud i det nordlige Atlanterhav og kølede det ned. I takt med at Atlanterhavet blev nedkølet, blev Golfstrømmen presset mod syd, og de varme vand, som under normale omstændigheder flyder fra Caribien mod nord og ind i Skandinavien, holdt sig væk. Da varmen forsvandt, havde kulden alle muligheder for at holde Jorden fast i sit knugende iskolde greb.

Andre forskere er dog ikke så overbeviste om, at det skyldes tømning af en smeltevandssø, men derimod et meteornedslag i Nordamerika. De mangler blot at finde et krater, de kan aldersmatche til begivenheden.

»Nogle fund af blandt andet nanodiamanter og lag af kulstof i jordlag mange steder i Nordamerika samt forhøjet indhold af platin i iskerner indikerer, at der godt kan have været et meteornedslag, som både har skabt diamanterne, brændt en masse skove af og altså også kastet Jorden ind i en kuldeperiode. Et af de væsentligste huller i den teori har

dog været, at man indtil videre ikke har fundet et nedslagskrater i Nordamerika, som passer med timingen. Hiawatha-krateret er en mulighed, selvom det ikke findes i Nordamerika,« siger Nicolaj Krog Larsen.

Den danske forsker fortæller også, at hvis meteorokrateret i Grønland blev dannet for 12.800 år siden, ville Grønland på daværende tidspunkt have været dækket af is, og dele af isen tæt på krateret ville naturligvis smelte på grund af på grund af den store energifrigivelse.

Efterfølgende kan smeltevandet været strømmet ned gennem Baffinbugten og ud i Atlanterhavet, som det ville have nedkølet med den samme effekt på Golfstrømmen.

### Mangler den rygende pistol

Selvom flere ting peger på, at Hiawatha-krateret er meget ungt, peger andre ting i retning af, at det måske ikke er så ungt, som Nicolaj Krog Larsen håber på.

Blandt andet har forskerne ikke fundet nogle soleklare beviser på et stort meteornedslag i iskerneboringer fra



**DANMARKS FRIE  
FORSKNINGSFOND**  
INDEPENDENT RESEARCH  
FUND DENMARK

## De fem største kraterer

Jorden er blevet ramt af mange store meteorer gennem vores lange geologiske historie. Mange af meteorkraterne kan man ikke se fra jordoverfladen i dag, fordi de med tiden er eroderet væk. De er dog stadig synlige for forskere, der bruger lydbølger til at kortlægge undergrunden.

Her er de fem største meteorkraterer på Jorden. Hverken Hiawatha eller Chicxulub er med på listen, da de er henholdsvis det 25. og 8. største meteorkrater. Der er lidt tvivl om, hvorvidt Chicxulub egentlig bør karakteriseres som det næststørste, men den diskussion er en anden historie.

**1. Vredefort-krateret** i Sydafrika er det største krater på Jorden og samtidig et af de ældste. Det blev dannet, da en gigantisk asteroide smadrede ned i Jorden for to milliarder år siden og efterlod et hul med en diameter på 300 kilometer. Det objekt, som skabte Vredefort-krateret, er estimeret til at være et af de største himmellegemer, der nogensinde har ramt Jorden, og er formentlig kun overgået af det himmellegeme, som ramte Jorden for 4,6 milliarder år siden og flåede et stort stykke af Jorden, som siden er blevet til Månen.

**2. Sudbury Basin** i Canada er med sine 1,8 milliarder år på bagen også et af verdens ældste meteorkraterer. Det blev dannet, da et himmellegeme på mellem 10 og 15 kilometer i diameter kolliderede med vores lille planet. Forskere estimerer, at nedslaget sendte klippestykker mere end 800 kilometer væk. I dag er blot en del af krateret tilbage, men da det blev dannet, var det i omegnen af 130 kilometer i diameter.

**3. Acraman-krateret** i det sydlige Australien er i dag let at finde, fordi nedslaget efterlod en fordybning i jorden, som i dag udgør Acraman-søen, der er 20 kilometer i diameter. Selve nedslagkrateret var ved sin dannelse for 580 millioner år siden op imod 90 kilometer i diameter.



Vredefort-krateret i Sydafrika er verdens største, kendte meteokrater. Krateret er afsløret af de koncentriske mønstre i undergrunden. Kun en del af strukturen er bevaret, da området mod syd er blevet overlejret med yngre bjergarter, der siden er blevet til frugtbar landbrugsjord. Foto: NASA

**4. Woodleigh-krateret** ligger i det vestlige Australien og var ved nedslagtidspunktet for omkring 364 millioner år siden cirka 60 kilometer i diameter. Det blev dannet af et himmellegeme med en størrelse på mellem fem og seks kilometer i diameter. Opdagelsen af Woodleigh-krateret blev først gjort i år 2000, og derfor spekulerer forskere stadig over kraterets reelle størrelse ved nedslagtidspunktet. Nogle studier har indikeret, at det måske har været over 150 kilometer i diameter.

**5. Manicouagan-krateret** i Canada blev dannet for 215 millioner år siden, da en asteroide på fem kilometer i diameter ramte Jorden. I dag er krateret formet som en cirkulær sø omkring et indre plateau. Nogle forskere mener, at Manicouagan-krateret blev dannet på samme tid som fire andre meteorkraterer i henholdsvis Frankrig, Manitoba, Ukraine og North Dakota. Alle fem kraterer ligger nemlig som perler på en snor og kan være dannet af en stribe asteroider, som slog ned i Jorden én efter én med kort tids mellemrum.

Indlandsisen. Man kunne forvente, at hvis tonsvis af støv, sand og grus er blevet slynget op i atmosfæren for 12.800 år siden, vil man i iskernerne i Grønland kunne se et meget klart støvlag. Det findes bare ikke.

Manglen på laget af støv betyder dog ikke, at hele teorien om kraterets forbindelse til Ynge Dryas kan forkastes. Hvis Grønland var dækket af kilometer tyk is for 12.800 år siden – vi var jo trods alt kun lige kommet ud af den seneste istid – kan det have påvirket, hvor meget klippe og støv der er blevet slynget op i luften.

»Man kan formentlig ikke sammenligne et meteornedslag på is med et meteornedslag på land. Nye computermodeller viser, at hvis en meteor falder ned på 1,5 kilometer tyk is, så spredes materialet ikke så meget ved nedslaget. Der er dog kun én måde at være sikker på, og det er ved at endegyldigt datere krateret,« siger Nicolaj Krog Larsen.

### Svært at datere unge meteorkraterer

I løbet af de næste tre år skal Nicolaj Krog Larsen sammen med sine kollegaer forsøge at kortlægge

alderen på Hiawatha-krateret.

Normalt, når forskere skal datere meteorkraterer, gør de det ved den såkaldte argon-argonmetode, hvor de studerer forholdet mellem to argon-isotoper for at bestemme henfaldet og dermed alderen på givne klippestykker, der er blevet dannet ved et meteornedslag.

Når en meteor rammer Jorden, udsletter den i nedslagsområdet alle spor af det allerede eksisterende argon, hvilket betyder, at alt argon i et nedslagskrater er dannet efter

nedslaget, hvor bjergarterne smeltede og dannede nye mineraler.

Over tid henfalder kalium-40 til argon-40, og ved at kigge på forholdet mellem argon-isotoperne kan forskere finde ud af, hvor gammelt krateret er. Det er blandt andet den metode, som forskere har brugt til at kortlægge alderen på Chicxulub-krateret ud for Yucatan. Chicxulub-krateret blev dannet, da en gigantisk meteor ramte Jorden og formentlig var årsag til, at en stor del af verdens dyreliv blev udryddet – heriblandt dinosaurerne. Først bestemte forskere det til at være 65 millioner år gammelt, men i takt med, at forskere har lavet flere målinger, har de kunnet præcisere den tidsramme til nu at være 65,6 millioner år. Det vil også sige, at dinosaurernes uddøen er blevet rykket fra for 65 millioner år siden til for 66 millioner år siden, da man med de nye og mere præcise målinger har rundet op i stedet for ned.

Selvom argon-argon-datering har været helt fantastisk til at datere kratere, som er millioner af år gamle, er teknikken ikke særligt velegnet til at datere kratere, der måske blot er 12.800 år gamle. Årsagen er, at der i unge kratere ikke skal meget argonforurening til, for at resultaterne bliver misvisende.

Forestil dig, at meteornedslaget, som efterlod Hiawatha-krateret, ikke fik fjernet alt det argon, som var der i forvejen. Det betyder, at beregningen af henfaldet bliver mudret af argon, som kan være mange millioner eller milliarder af år gammelt. En lille smule forurening i et krater, der er 65,6 millioner år gammelt, betyder ikke så meget for præcisionen, men det kan det gøre for et ungt krater, hvor forskere ikke skal præcisere alderen inden for hundredtusinder af år, men inden for århundreder.

»Er krateret meget ungt, skal vi have meget rene prøver for at kunne datere det præcist. Det ved vi selvsagt ikke endnu, om vi har, men

## Argon-argon-datering

Argon-argon-datering er en radiometrisk undersøgelsesmetode til at datere klippemateriale meget nøjagtigt.

Ved et meteornedslag forsvinder alt allerede eksisterende argon i nedslagsområdet, og prøver fra meterokraterer vil derfor kun indeholde argon dannet efter selve nedslaget. Kalium-40, der findes naturligt i en række mineraler, henfalder over tid til argon-40, og dermed ændres forholdet mellem isotoperne argon-40 og argon-39 over tid. Henfaldet sker med en konstant hastighed, og derfor kan man ved at måle forholdet mellem argon-40 og argon-39 i en prøve meget nøjagtigt bestemme, hvornår klippestykket blev dannet.

Kalium-40 har en såkaldt halveringstid – altså den tid det tager, for halvdelen af kalium-40 at blive til calcium-40 eller argon-40 – på 1,248 milliarder år.

For at benytte metoden skal forskere lave tynde skiver af en sten og identificere glasstykker, som indeholder argon. Prøven placeres derefter i et massespektrometer, der skyder en laser ind i prøven, så gasserne, herunder argon, bliver frigivet. Derefter analyserer massespektrometret vægten af de enkelte molekyler, og der vil argon-40 veje mere end argon-39, da det indeholder en neutron mere i atomkernen.

For at datere et meteorkrater præcist udfører forskere flere argon-argon-dateringer på prøver fra forskellige steder i krateret og tager så gennemsnittet af resultaterne. Dateringerne har enkeltvist en usikkerhed på mellem én og fem procent.

## Om Nicolaj Krog Larsen

Nicolaj Krog Larsen er professor på Globe Institute ved Sektion for Geogenetik på Københavns Universitet. Her forsker han i fortidens klimavariationer, specielt i relation til klimaets påvirkning af den grønlandske Indlandsis og andre permanente iskapper i Arktis og Skandinavien.

Nicolaj Krog Larsen er uddannet fra Geologisk Institut på Aarhus Universitet. Efter sit speciale skrev han ph.d. om glaciære processer og isdynamik ved Aarhus Universitet. Han fortsatte

forskerkarrieren som post.doc ved Lunds Universitet i Sverige, hvor han skiftede fokus og begyndte at studere Indlandsisen i Grønland. Siden da er det blevet til mere end 25 feltekspeditioner til alle dele af Grønland. I 2010 kom han tilbage til Institut for Geoscience på Aarhus Universitet som Steno postdoc, inden han blev lektor på samme institut i 2013. I december 2019 blev han udnævnt til professor i Kvartærgeologi ved Globe Institute ved Københavns Universitet. Hans forskningsinteresser omfatter ud over arktiske is- og klimaændringer også istidshistorien i Skandinavien, istidslandskaber og sedimentter samt geoarkæologi og medicinsk geologi.



det vil vi finde ud af,« forklarer Nicolaj Krog Larsen.

### Kombinerer med andre undersøgelser...

Argon-argon-dateringen kommer heller ikke til at stå alene i det nye forskningsarbejde. Foruden denne meget anerkendte metode vil forskerne også lave andre isotopdateringer med andre mineraler og i tillæg forsøge at validere deres resultater ved at kigge i iskerner fra Grønland samt sedimentkerner fra havbunden ud for Grønland.

Planen er først at finde en mulig alder ved hjælp af argon-argon-dateringen og derefter validere den ved at se, om resultatet matcher med de andre isotopundersøgelser fund og med klimatiske begivenheder i is- og sedimentkernerne.

Nicolaj Krog Larsen fortæller, at der i iskerner findes mange store udsving i klimahistorien over de seneste 800.000 år, og at det bliver



Indsamling af stenprøver i Inglefield Land.  
Foto: A.S. Søndergaard.

interessant at se, hvor meteornedslaget, der skabte Hiawatha-krateret, passer ind.

De bedste iskernedata er fra Grønland, hvor forskerne har information om klimaet fra år til år de seneste 100.000 år. Det vil sige, at hvis forskerne kan få en meget præcis alder på meteornedslaget, og det

er sket inden for de seneste 100.000 år, kan de også meget præcist se, hvordan nedslaget har påvirket hele Jordens klima fra år til år i de efterfølgende år, årtier, århundreder og årtusinder.

»Vi håber virkelig på, at det er ungt, fordi det vil give os nogle helt unikke oplysninger om, hvordan klimaet ændrer sig i forbindelse med et stort meteornedslag. Det kan vi bruge til både at sige noget om klimaets udvikling, men også til at sige noget om, hvordan det har været for de dyr, som har levet i en periode efter andre af de store meteornedslag. Det

mest spændende vil selvfølgelig være, hvis vi kan datere krateret til at være 12.800 år gammelt. Det vil kunne forklare en masse ting omkring klimaændringerne ved indgangen til Yngre Dryas. Derudover vil der også være mennesker i ligningen, fordi der på det tidspunkt allerede levede mennesker i blandt andet Europa og Nordamerika,« siger Nicolaj Krog Larsen. ■

## FAKTA

Henrik Prætorius, Peter Snejbjerg og Niels Roland: *HCØ - Kampen om videnskaben*. Forlaget Cobolt og Videnskabernes Selskabs forlag 2020. 72 sider, 199,- kr.



### HCØ - Kampen om videnskaben

Endnu en tegneserie om H.C. Ørsted har set dagens lys i dette jubilæumsår for opdagelsen af elektromagnetismen. *HCØ - Kampen om videnskaben* er blevet til i et samarbejde mellem tegneserieforlaget Cobolt og Videnskabernes Selskab. Ørsteds opdagelse af elektromagnetismen i 1820 er en af de mest betydningsfulde opdagelser i videnskabshistorien. Og det gør Ørsted til en af de største forskere, Danmark har fostret. Men i sin egen tid var han en videnskabelig oprører, der livet igennem måtte slås for sine ideer.

### Mysterierne om Danmarks dræbersygdomme

På DR2 kører i skrivende stund en serie om sygdomsudbrud, der har hærget Danmark gennem tiden. Den gennemgående ekspert i disse programmer er professor og epidemiolog Lone Simonsen fra RUC, som også optræder flittigt i sammenhænge, hvor den aktuelle corona-epidemi skal kommenteres.



De tre første afsnit i serien handler om henholdsvis:

- influenzaepidemien, der hærgede i 1889, og som muligvis var verdens første corona-epidemi.
- en mystisk sygdom, der hærgerede i 1831 og som lagde op til 12 % af borgerne i visse sogne i graven
- den uhyggelige sovesyge, hvor folk i hele verden omkring 1920 tilsyneladende ud af det blå begynder at falde i en dyb Tornerosesøvn og sove i dage- og ugevis. Også Danmark rammes af sovesygen. Et stort antal af patienterne dør, og andre får livslange neurologiske lidelser. [dr.dk/drtv/serie/203314](http://dr.dk/drtv/serie/203314).





KØBENHAVNS UNIVERSITET

# FORDI DIT STUDIEVALG KRÆVER GOD TID


Det kræver tid og fordybelse at finde den rigtige uddannelse. På Københavns Universitet har du masser af muligheder for at blive klogere på de naturvidenskabelige uddannelser, inden du træffer dit valg.

Du kan blandt andet:

- Tage et Uddannelsestjek
- Gå i studiepraktik
- Blive studerende for en dag
- Se film om uddannelserne

Læs mere om vores uddannelser  
og dine muligheder på

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

 Læs på SCIENCE

 @scienceku

# ELEKTRO- MAGNETISMEN

## - opdagelse og udforskning

Om forfatteren



Hans Buhl er samlingsleder og museumsinspektør for videnskabshistorie på Steno Museet/Science Museerne ved Aarhus Universitet. hans.buhl@sm.au.dk

I Steno Museets udstilling *Det nysgerrige menneske* kan man se en rekonstruktion af Ørstedes berømte forsøg. Bag ledningen ses afhandlingen "Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam" ("Forsøg over den elektriske Vexelkamps Indvirkning paa Magnetnaalen"), hvori Ørsted den 21. juli 1820 offentliggjorde opdagelsen af elektromagnetismen.

Foto: Hans Buhl.

Elektromagnetismen blev opdaget af den danske videnskabsmand H.C. Ørsted i foråret 1820. Opdagelsen åbnede et helt nyt felt inden for fysikken, som blev udforsket både eksperimentelt og teoretisk. Der gik over et halvt århundrede, inden fysikerne for alvor forstod fænomenet.

**D**a Ørsted gjorde sin store opdagelse, havde naturforskere studeret elektriske og magnetiske fænomener i et par hundrede år. Så man havde efterhånden en god fornemmelse af, hvordan kompasser og magneter opførte sig. Der var også opfundet både elektrisermaskiner og batterier, som gjorde det muligt at undersøge korte, kraftige udladninger af statisk elektricitet såvel som effekten af vedvarende strømme.

I 1780'erne var det endda lykkedes den franske fysiker Charles-Augustin de Coulomb at måle, at kraften mellem ladede kugler var proportional med kvadratet på afstanden imellem dem. De elektriske kræfter fulgte altså den samme matematiske lovmæssighed, som Newton havde fundet for tyngdekraften.

Bortset fra nogle fællestræk med hensyn til frastødning og tiltrækning

samt den erfaring, at lynnedslag kunne påvirke magnetnåle i nærheden, var der ikke noget, der tydede på nogen forbindelse mellem elektricitet og magnetisme. Derfor var de franske fysikere, som var tidens førende, overbeviste om, at de to fænomener intet havde med hinanden at gøre. H.C. Ørsted delte imidlertid ikke denne opfattelse. Så meget desto mere var opdagelsen af elektromagnetismen en stor triumf for ham.



## H.C. Ørsted

Hans Christian Ørsted (1777-1851) var en dansk fysiker, kemiker, farmaceut og naturfilosof. Han voksede op i Rudkøbing på Langeland, hvor hans far var apoteker. Dette gav Ørsted interesse for kemi, og i 1797 blev han selv farmaceut. Han besvarede desuden to prisopgaver: en om æstetik og en om kemi. I 1799 blev han doktor på en afhandling om Immanuel Kants naturfilosofi.

Efter en studierejse til Tyskland og Frankrig i 1801-03 underviste han i fysik ved Københavns Universitet, fra 1806 som professor. I flere perioder virkede han endvidere som rektor for universitetet. I 1808 blev Ørsted medlem af Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, hvori han fra 1815 til sin død var sekretær. I 1829 oprettede Ørsted Den Polytekniske Læreanstalt for at styrke forbindelsen mellem videnskaben og det praktiske liv.

Flere af Ørsteds mange forskningsområder fremgår af Eckersbergs maleri: Ud over batteriet i baggrunden og kompasnålen på bordet ses til højre hans piezometer til måling af væskers sammentrykkelighed. Messingpladen i hånden brugte han til at lave klangfigurer ved hjælp af violinbuen. Herudover isolerede han grundstoffet aluminium i 1825.



Oliemaleri af C.W. Eckersberg, 1822. Foto: Wikimedia/ Teknisk Museum/SNU.

Ørsted var stærkt optaget af at skabe almen interesse for naturvidenskaben, og derfor stiftede han i 1824 Selskabet for Naturlærens Udbredelse, som stadig bedriver naturvidenskabelig folkeoplysning. Han opfandt også cirka 2.000 nye

ord. Nogle var videnskabelige, eksempelvis ilt, brint, rumfang, vægtfylde, skæringspunkt og klangbund. Andre var mere almene som sammendrag, autoritetstro, mindretal, billedkunst, ildsjæl, og drømmeverden.

### Rationalisme vs. naturromantik

Som fysiker og kemiker var Ørsted stærkt præget af den naturromantiske verdensanskuelse, som med inspiration fra den tyske filosof Immanuel Kant spredte sig i Nordeuropa i begyndelsen af 1800-tallet.

Naturromantikken var en antimaterialistisk og holistisk modstrømning til den etablerede, rationalistiske fysik. De traditionelle fysikere baserede sig på nøjagtige måleresultater og betragtede dybest set verden som en samling af materielle atomer, der påvirkede hinanden med centrale kræfter, som kunne beskri-

ves matematisk. Derfor opfattede naturromantikerne disse fysikere som ensporede og åndløse atomister, der manglede blik for de store sammenhænge i naturen.

Naturromantikerne mente derimod, at alt omkring os skulle forstås ud fra to modsatrettede grundkræfter: en frastødende og en tiltrækkende. Materien og de vidt forskellige naturfænomener var således bare forskellige fremtrædelsesformer af disse fundamentale kræfter. Naturforskernes opgave bestod følgelig i at afdække denne grundlæggende enhed

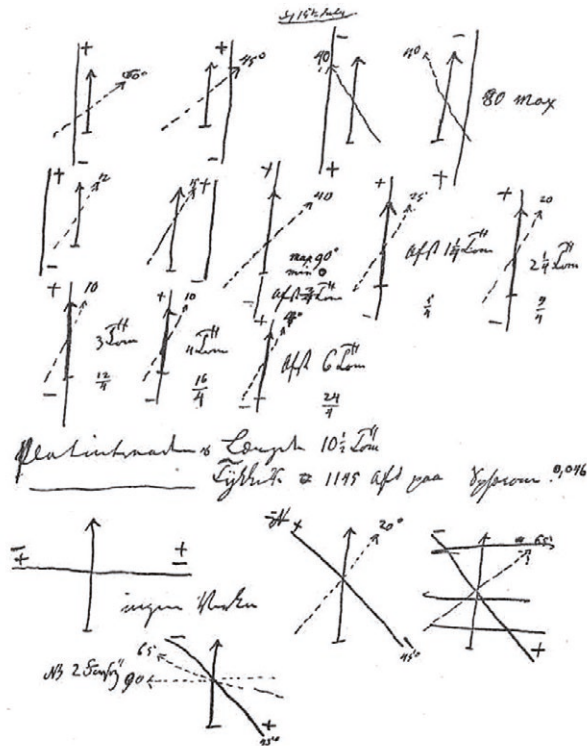
i naturen, der i sidste ende var af guddommelig oprindelse.

### En både forventet og overraskende opdagelse

På den baggrund var det helt naturligt for Ørsted at filosofere over en sammenhæng mellem de elektriske og magnetiske kræfter. Allerede i 1812 havde han skrevet om, at den elektriske strøm kunne have en magnetisk virkning, men ikke undersøgt det nærmere.

I begyndelsen af 1820 fik han den ide, at en eventuel magnetisk virkning måtte stråle ud til alle sider fra

Ørsted var ikke bare en spekulativ naturromantiker, men også en omhyggelig og erfaren eksperimentator. Hans laboratorieoptegnelser viser, hvordan han for eksempel undersøgte magnetnåleens udslag som funktion af ledningens afstand til nålen. Når afstanden vokser fra  $\frac{3}{4}$ " til 6" formindskes udslaget fra  $40^\circ$  til  $4^\circ$ . Kilde: H.C. Ørsted, *Naturvidenskabelige Skrifter*.



en ledning, ligesom ledningen udsårlede lys og varme, når den blev gennemløbet af så kraftig en strøm, at den blev rødglødende.

Under en forelæsning i foråret 1820 så Ørsted faktisk også en svag bevægelse af en kompasnål, da han førte en strømførende platintråd hen over den. Det gjorde dog ikke større indtryk på tilhørerne. På grund af travlhed med undervisning, opgaveretning og administration var det først i juli, han fik lejlighed til at gentage forsøget. Denne gang med et meget kraftigere batteri – og i overværelse af troværdige vidner.

Nu var der ingen tvivl: Magnetnålen slog kraftigt ud til siden, når der løb strøm i en ledning over eller under den. Ørsted havde opdaget elektromagnetismen.

Han undersøgte fænomenet grundigt og offentliggjorde resultaterne i et firesiders, latinsk flyveskrift, som udkom den 21. juli 1820. Heri konkluderede han, »at den elektriske Vexelkamp ikke indesluttes i Lederen, men [...] udbreder sig i det omliggende Rum«, samt »at denne Virkning skeer i Kredsen om Lederen«.

Ud over selve forbindelsen mellem elektricitet og magnetisme var det mest overraskende ved opdagelsen, at de magnetiske kræfter stod vinkelret på ledningen. Ørsted havde altså opdaget en helt ny form for naturkraft, som tilsyneladende var i direkte modstrid med de franske fysikers forestilling om, at naturkræfter altid virker langs med forbindelseslinjen mellem de objekter, der påvirker hinanden.

### En blandet modtagelse

Ørsted sendte straks sin afhandling til et halvt hundrede lærde kolleger i Europa. I Tyskland blev afhandlingen ikke overraskende godt modtaget, hvorimod de franske fysikere var skeptiske. Det var måske ikke så underligt, for de mente jo ikke, at det påståede fænomen kunne eksistere. Velkendte med Ørsteds naturromantiske forestillinger betragtede de det som endnu et tysk drømmeri.

Men så snart de havde eftergjort forsøget, måtte de erkende, at den var god nok, og i løbet af kort tid satte Ørsteds opdagelse gang i en intens udforskning af elektromagnetismen.

### Ampère og elektrodynamikken

André-Marie Ampère var en af de forskere, som kastede sig over opgaven med størst ildhu. Blot to uger efter han havde hørt om Ørsteds eksperiment, opdagede han, at to strømførende ledninger kunne påvirke hinanden uden medvirken af en magnet. For at afprøve en ide havde han konstrueret et apparat med to parallelle ledere, hvoraf den ene var monteret, så den frit kunne bevæge sig. Det viste sig, at de to ledere tiltrak hinanden, når strømmen løb samme vej i dem, mens de frastødte hinanden, når strømmene var modsatrettede. De to strømførende ledere opførte sig altså ligesom to magneter ville gøre. Inden længe fremsatte Ampère den dristige antagelse, at al magnetisme har sin oprindelse i elektriske strømme.

I de følgende år udviklede han en matematisk lov for kraften mellem to infinitesimale (dvs. uendeligt små) strømelementer. Kraften viste sig at aftage med kvadratet på afstanden mellem strømelementerne. Den havde altså samme struktur som tyngdekraften og de elektriske kræfter. Gennem sin matematiske analyse af fænomenet var det lykkedes Ampère at genoprette den uorden, som Ørsteds opdagelse havde skabt i den etablerede fysiks opfattelse af, at verden består af partikler, som påvirker hinanden med centrale kræfter.

Ampères ideer blev videreudviklet af en række fysikere, ikke mindst tyskeren Wilhelm Weber, som antog, at elektrisk strøm består af ladede partikler i bevægelse. Ad denne vej lykkedes det ham midt i 1800-tallet at forene Coulombs lov og de elektrodynamiske love i en og samme kraftlov. Mange fandt det tilfredsstillende, at Webers kraftlov nu kunne forklare alle elektriske og magnetiske fænomener, ligesom Newtons gravitationslov forklarede planeternes bevægelse.

De elektromagnetiske fænomener kunne imidlertid også forstås på en helt anden måde.

## Faraday og den elektromagnetiske induktion

På den anden side af den engelske kanal fulgte den selv lærte kemiker Michael Faraday interesseret med i udforskningen af elektromagnetismen. Han var – ligesom Ørsted – ikke begejstret for reduktionen af alle fænomener til centralkræfter.

Han var mere tiltrukket af Ørsteds ide om, at den elektromagnetiske virkning hovedsageligt var noget, som foregik rundt om ledningen. Antagelsen blev styrket af, at han i 1821 formåede at lave et apparat, hvor en magnet roterede omkring en strømførende leder. Dette princip er videreudviklet til vor tids allestedsnærværende elektromotorer, som står for omkring halvdelen af det globale elforbrug.

Af endnu større betydning var det, at Faraday i 1831 opdagede, at der bliver skabt en elektrisk strøm, når man ændrer magnetfeltet i en spole. Så hvor Ørsted havde vist, at strøm kan bevæge en magnet, havde Faraday vist det omvendte: at bevægelse af en magnet kan skabe strøm. Elektromagnetisk induktion står i dag for over 90 % af al strøm, som produceres på Jorden.

### Elektromagnetiske felter

Faraday formulerede induktionsfænomenet således, at der i en ledning, som skærer en "magnetisk kurve", fremkaldes en kraft, som



I Steno Museets samling findes der en rekonstruktion af Faradays rotationsapparat fra 1821. Til venstre bevæger magneten i glasset med kvik sølv sig rundt om ledningen, når der løber strøm igennem den. Til højre er det ledningen, der bevæger sig. Rotationsapparatet var verdens første elektromotor. Foto: Lise Balsby, AU Foto.

driver en strøm igennem ledningen. Med begrebet magnetisk kurve var han med til at etablere den forestilling om elektromagnetiske felter, som vi har i dag.

For Faraday var feltlinjerne i rummet omkring en magnet eller en strømførende ledning lige så reelle som magneten eller ledningen selv. Det sås blandt andet ved, at feltlinjerne kunne synliggøres med jernfilspåner på et stykke papir.

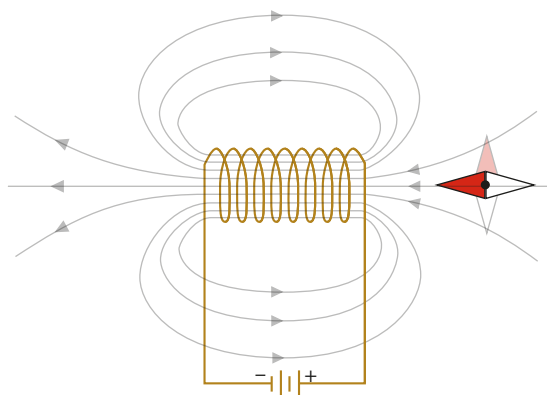
Ligesom Ørsted var Faraday ikke

særlig god til matematik, så hans teori var rent billedlig. Men fra midten af 1800-tallet forsøgte flere britiske fysikere at udtrykke den matematisk. Ikke mindst skotten James Clerk Maxwell fik i løbet af et par årtier udviklet en sammenhængende feltteori for elektromagnetiske fænomener.

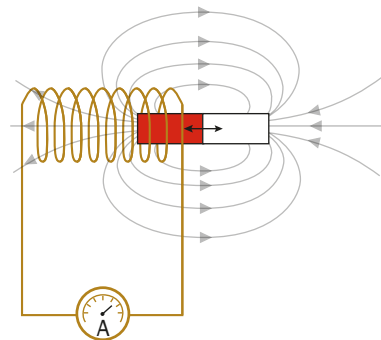
### Maxwells ligninger og lysbølgerne

Maxwell tog udgangspunkt i den såkaldte æter, som var det hypotetiske, altgennemtrængende medium, alle kræfter mentes

**Udstilling:** Jubilæumsudstillingen "H.C. Ørsted på ny-skønheden i naturen", som er arrangeret af Selskabet for Naturlærens Udbredelse, kan ses i Rundetårn indtil 27. september 2020. Derefter vises den i efteråret på Syddansk Universitet. I foråret 2021 kan udstillingen ses på Steno Museet i Aarhus.



Ørsted



Faraday

Elektromagnetismen er et smukt eksempel på naturens mange symmetrier. Figuren til venstre er et eksempel på Ørsteds opdagelse af, at en elektrisk strøm kan bevæge en magnet. Figuren til højre illustrerer tilsvarende Faradays opdagelse af, at bevægelse af en magnet kan skabe en elektrisk strøm i en ledning i nærheden. Symmetrien ses i Maxwells ligninger og understreges i praksis af, at visse elektromotorer også kan bruges som generatorer og omvendt

## Maxwells ligninger

Maxwells ligninger er ikke blot centrale for forståelsen af elektromagnetismen. De er også blandt de få ligninger, som er vidt udbredt på t-shirts og kaffekopper.

Opindeligt opstillede Maxwell tyve ligninger, da han behandlede de tre rumlige koordinater hver for sig. Men i 1884 reducerede den engelske ingeniør og fysiker Oliver Heaviside ligningerne til de nu kendte fire differentiallyigninger ved brug af vektornotation. Disse fire ligninger beskriver den relation, som elektriske ladninger i hvile og bevægelse har til elektriske og magnetiske felter.

Den første ligning kaldes også Gauss' lov og udtrykker sammenhængen mellem et elektrisk felt ( $E$ ) og den elektriske ladning ( $\rho$ ), der skaber det. Coulombs kraftlov kan udledes af denne ligning.

Den anden ligning kaldes Gauss' lov for magnetisme. Den udtryk-

ker, at der ikke findes magnetiske ladninger, også kaldet magnetiske monopoler. Det betyder, at magnetfeltlinjer altid er lukkede kurver.

Den tredje ligning udtrykker Faradays induktionslov, idet den viser, at et magnetfelt ( $B$ ), som varierer over tid, skaber et elektrisk felt.

Den fjerde og sidste ligning viser, at

et magnetfelt kan skabes på to måder: enten af en elektrisk strøm ( $J$ ), som Ampère hævdede, eller ved at et elektrisk felt varierer over tid.

Det sidste led, som Maxwell tilføjede, er vigtigt, da det i kombination med tredje ligning giver mulighed for elektromagnetiske bølger: Et varierende magnetfelt skaber et elektrisk felt og vice versa. Disse bølger udbreder sig med lysets hastighed, da de elektriske og magnetiske naturkonstanter  $\epsilon_0$  og  $\mu_0$  kan kombineres til at give lyshastigheden,  $c$ .

De elektromagnetiske bølger blev eksperimentelt påvist af den tyske fysiker Heinrich Hertz i 1890'erne. Det bidrog til fysikernes udbredte accept af Maxwells ligninger. Påvisningen af de elektromagnetiske bølger førte også hurtigt til opfindelsen af den trådløse telegraf og senere radioen.

and God said

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$
$$\nabla \cdot B = 0$$
$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$
$$\nabla \times B = \mu_0 \left( J + \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \right)$$

and then  
there was LIGHT

**Videre læsning:**  
Ole Knudsen, *Elektromagnetisme 1820-1900*, Steno Museets Venner 2015.

Anja Skaar Jacobsen og Svend Larsen (red.), *H.C. Ørsteds Selvbiografi*, Steno Museets Venner 2002.

Dan Ch. Christensen, *Naturens tankelæser - En biografi om Hans Christian Ørsted*, Museum Tusulanums Forlag 2009.

*Kvant*, Temanummer om H.C. Ørsted og 200-året for elektromagnetismen, December 2019.

at udbrede sig i  $\text{Æ}$ teren blev tillagt nogle mekaniske egenskaber, som Maxwell oversatte til egenskaber for de elektriske og magnetiske felter. Ud fra denne mekaniske model kunne han matematisk beskrive de elektriske og magnetiske fænomener, som Ørsted, Faraday og andre havde opdaget.

For at kunne gøre rede for isolators egenskaber var Maxwell nødt til at forestille sig, at æteren var elastisk. Det havde imidlertid den konsekvens, at der måtte kunne udbrede sig bølger igennem den. Når han indsatte de kendte elektromagnetiske konstanter i teorien, kom han til det overraskende resultat, at disse æterbølger udbredte sig med lysets hastighed. Derfor

konkluderede han, at lys er bølgebevægelser i det samme medium, som er årsagen til de elektriske og magnetiske fænomener. Så ligesom Ørsted med sin opdagelse havde forenet elektricitet og magnetisme til ét samlet fænomen, havde Maxwell et halvt århundrede senere forenet elektrodynamikken og optikken.

### En lykkelig syntese

Denne bedrift ændrede dog ikke på, at fysikerne stod med to stærke og fuldstændig forskellige teorier for det fænomen, som Ørsted havde opdaget i 1820: Webers teori, der indeholdt elektriske partikler, men ingen felter, og Maxwells teori, der indeholdt felter, men ingen elektriske partikler.

Dette tilsyneladende paradoks blev løst af den hollandske fysiker Hendrik A. Lorentz, der i 1890'erne udviklede en elektron-teori, som han kombinerede med Maxwells teori. Derved blev det muligt at opfatte ladede partikler som kilder til felterne. Tilsvarende kunne felterne udøve en kraft på partiklerne. På denne måde kunne han integrere partikel- og felperspektivet.

Takket være denne tilføjelse står Maxwells ligninger – der som nævnt var baseret på en mekanisk model af en “æter”, som vi siden har forladt ideen om, da den ikke kan påvises – stadig som den bedste teori for alskens elektromagnetiske fænomener. ■



**NYHED!**  
AAU PLAY – STREAM  
UNDERVISNING MED  
AAU'S FORSKERE

## TILBUD TIL DIN UNDERVISNING

Velkommen på Aalborg Universitets nye hjemmeside til gymnasier, hvor vi har samlet en række tilbud til din undervisning.

På siden kan du bl.a. læse om: Besøgsmuligheder, samarbejde om SRP, efteruddannelsesmuligheder, AAU Play og AAU on Demand, hvor trænede studerende kan overtage undervisningen – lige fra en lektion til en hel dag, mens I fx holder pædagogisk dag.

Vores tilbud dækker det meste af Danmark, og mange af mulighederne er online-baseret.

**FIND DEN NYE HJEMMESIDE PÅ [AAU.DK/GYMNASJETILBUD](https://www.aau.dk/gymnasietilbud)**



**AALBORG UNIVERSITET**  
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN

# H. C. ØRSTED OG DANSK FOLKEOPLYSNING

I 200-året for H. C. Ørsteds opdagelse af elektromagnetismen er det værd at mindes hans indsats for en folkelig forståelse af naturvidenskaben. Med skabelsen af Selskabet for Naturlærers Udbredelse i 1824 indskrev Ørsted sig som en pioner i dansk folkeoplysnings historie.

Den ledende repræsentant for den romantiske naturfilosofi i Danmark var utvivlsomt H. C. Ørsted, hvis naturopfattelse var præget af filosoffer som Immanuel Kant og Friedrich Schelling. Den romantiske bølge var på mange måder en reaktion mod 1700-tallets oplysningstid og dens idealer om fremskridt, nytte, fornuft og oplysning. Ørsteds tanker og virke var dog nok så meget inspireret af oplysningstiden som af den nye romantiske naturfilosofi. Således var de to sidstnævnte elementer – fornuft og oplysning – helt centrale i hans tankeverden.

Ørsted opfattede det som en kær pligt at oplyse borgerskabet om naturvidenskaben og dens betydning, hvilket i 1824 førte til dannelsen af Selskabet for Naturlærers Udbredelse. Denne forening var i lang tid landets vigtigste institution ikke blot for naturfaglig folkeoplysning, men også for forskningspolitiske aktiviteter. Selv om Ørsteds indsats på dette område var enestående, byggede den på en ældre og mindre kendt tradition med rødder i 1700-tallet.



Christoffer W. Eckersbergs noget satiriske tegning af en populærvidenskabelig forevisning fra 1805.  
Foto: Statens Museum for Kunst.

## Forskning for folket

Flere af den sene oplysningstids naturforskere holdt offentlige og ofte gratis forelæsninger, der i nogle tilfælde omfattede forevisninger af eksperimenter. Det gjaldt blandt andet medicinprofessoren Christian Kratzenstein og den prominente amatørforsker og hofmarskal Adam Wilhelm Hauch, hvis publikum dog hovedsageligt kom fra adelen og det højere københavnske borgerskab.

Et tappert men kortvarigt forsøg på at oplyse almuen om de for samfundet så vigtige naturvidenskaber blev gjort så tidligt som 1764 af den norskfødte Ulrik Green,

der havde studeret ved Sorø Akademi og været på studierejse i England. Med økonomisk støtte fra kongens kasse annoncerede Green offentlige "fysiske Discursus" i form af en række aftenforelæsninger på dansk (og ikke på latin eller tysk). Hans repertoire var bredt og ambitiøst, men ildsjælen Green formåede ikke at holde liv i sine forelæsninger for folket, der ophørte i maj 1765. Selv om hans initiativ altså var begrænset, fortjener

det at huskes i dansk folkeoplysnings historie. Green døde i yderste fattigdom i 1773, fire år før Ørsted blev født.

Ud over de spredte offentlige forelæsninger var der i tiden en lind strøm af populærlitteratur, der vidner om en betydelig folkelig interesse for naturvidenskaben. Lad mig nøjes med at nævne blot et enkelt og karakteristisk eksempel, nemlig en lille bog fra 1800 af Thomas Rudolph Thiele med den fornøjelige titel *Naturlære for Fruentimmere*. Bogen var forsynet med et forord af astronomiprofessoren Thomas Bugge, der fandt det prisværdigt, at det svage køn nu også kunne blive



### Forfatteren

Helge Kragh er professor emeritus ved Niels Bohr Institutet og tidligere professor i videnskabs- og teknologihistorie ved Aarhus Universitet. Han forsker især i de fysiske videnskabers nyere historie.  
helge.kragh@nbi.ku.dk



oplyst om naturens vidunderlige maskineri, sådan som Gud havde skabt det.

### Naturlærens udbredelse

Under en rejse til England og Skotland i sommeren 1823 fik Ørsted indblik i, hvordan man dér populariserede videnskaben og mobiliserede den til fremme af landets erhvervsliv. Royal Institution i London, hvis offentlige forelæsninger var et tilløbsstykke blandt aristokratiet og det højere borgerskab, vakte hans særlige opmærksomhed og inspirerede ham til et lignende og ikke mindre ambitiøst dansk initiativ. I et indbydelsesskrift fra efteråret 1823 foreslog han, at man oprettede et privat selskab, der dels skulle udbrede kendskabet til naturforskning og dels gøre den nyttig for landets økonomi. Resultatet blev etableringen af Selskabet for Naturlærens Udbredelse på et møde i København den 6. juli 1824. Det nye selskabs formål var, at »udbrede Kundskab i den eksperimentale Naturvidenskab ... især anvendt paa de borgerlige Erhvervsgrene og med fortrinligt Hensyn paa Fædrelandet.«

I selskabets første direktion sad ud over Ørsted blandt andet botanik-professoren Johannes Reinhardt og den indflydelsesrige embedsmand Jonas Collin. Den enevældige konge Frederik VI optrådte som selskabets protektor. Fuldt medlemskab var en dyr fornøjelse, hvilket bidrog til en social profil, der var ganske elitær. Af de oprindelige 211 medlemmer var cirka 55 % statsansatte og cirka 39 % velstående erhvervsfolk. Der var kun ganske få præster og skolelærere og slet ingen arbejdere eller småbønder. Det betød dog ikke, at mindrebemidlede måtte holde sig fra selskabets forelæsninger, for mange af dem var offentligt tilgængelige.

Navnet "naturlære" var i Ørsteds optik nærmest synonymt med fysik + kemi, mens vigtige områder som matematik, astronomi og naturhistorie var stærkt nedprioriteret i selskabets aktiviteter. Det



Portræt af H. C. Ørsted. Maleri af Wilhelm Marstrand fra 1851, Det Nationalhistoriske Museum, Frederiksborg Slot. Foto: Det Kongelige Bibliotek.

skabte utilfredshed blandt landets botanikere og zoologer, der i 1833 besluttede sig for at danne deres eget selskab kaldet Dansk Naturhistorisk Forening.

Der var blandt ledende medlemmer af selskabet uenighed om balancen mellem folkeoplysning og teknisk service for næringslivet. Ørsted selv var ikke modstander af sidstnævnte, men for ham at se måtte formidling og dannelse have størst prioritet, hvilket da også blev tilfældet. Efter 1829, da Polyteknisk Lærestanstalt blev grundlagt, indgik selskabet og lærestalten et nært og formaliseret samarbejde, hvilket naturligvis lettedes af, at Ørsted ledte begge institutioner. Først i 1852, året efter Ørsteds død, ophørte fællesskabet.

### Selskabet blomstrer

Det ørstedske initiativ blev straks en succes, ikke mindst hvad angår de offentlige forelæsninger i København, der især blev vare-

taget af Ørsted og hans kolleger Wilhelm Zeise (kemi) og Johan G. Forchhammer (mineralogi og geologi). Ørsted trak selv en stor del af læsset, og hans forelæsninger var særdeles populære. Således var der 252 registrerede tilhørere til hans forelæsninger i 1825, vel at mærke i en by på cirka 100.000 indbyggere eller blot 1/7 af det nuværende indbyggertal. Endnu mere populære var de såkaldte forevisninger, hvor en forelæsning blev kombineret med eksperimenter og fremvisning af videnskabelige apparater.

Emnerne strakte vidt, og mange af dem var orienteret mod praktisk teknologi snarere end mod teoretisk videnskab. Et indblik i emnekredsen kan fås af nogle af de offentlige forelæsninger fra årene 1825-1831. Københavnske borgere kunne høre om "Handelsvarers kemiske og fysiske prøvelser" (Ørsted), om "Næringsveje i forbindelse med gæring og farveri" (Zeise)



Portræt af J. C. Jacobsen. Maleri af August Jerndorff fra 1886.  
Foto: Wikimedia Commons.

#### Videre læsning

Bostrup, O. (1974) *"Ulrik Green: Et studie i dansk fysik- og kemi-undervisnings historie"*. Naturens Verden, 55, 146-149.

Christensen, D. C. (2009) *Naturens Tankelæser: En Biografi om Hans Christian Ørsted*. København: Museum Tusulanum.

Hansen, H. C. (1985) *Poul la Cour: Grundtvigianer, Opfinder og Folkeoplyser*. Askov: Askov Højskoles Forlag.

Harding, M. C. (1924) *Selskabet for Naturlærens Udbredelse*. København: Gjellerup.

Kragh, H. (2005) *Dansk Naturvidenskabs Historie*, Bd. 2. Aarhus Universitetsforlag: Aarhus.

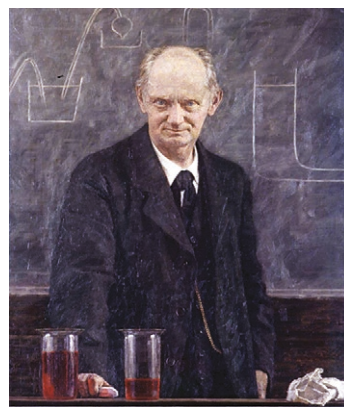
Pepke Pedersen, J. O. (2019) *Ørsted og striden med Grundtvig om forholdet mellem tro og viden*. Kvant, 30, nr. 4, 35-40.

forbedringer i dansk næringsliv, var det mindre effektivt. Collin og andre beklagede sig jævnligt over, at det var for videnskabeligt orienteret og kun havde ringe praktisk betydning for handel og industri.

Den folkeoplysende mission var dog mere end blot en ideologisk kamp for at sikre naturvidenskaben en plads i dansk kulturliv. Den havde også praktiske konsekvenser, hvoraf den vigtigste nok var den rige brygger J. C. (Jacob Christian) Jacobsens oprettelse af Carlsberg-fondet i 1876. J. C. Jacobsens far, bryggeren Christen Jacobsen, hørte til de første og mest aktive medlemmer af Selskabet for Naturlærens Udbredelse, og både han og sønnen fulgte mange af Ørsteds forelæsninger. Ved oprettelsen af Carlsbergfondet og de tilhørende laboratorier havde J. C. Jacobsen i høj grad Ørsted i tankerne. Som han udtrykte det, så skete oprettelsen i »levende Erkendelse af, hvormeget jeg skylder H. C. Ørsteds Lære og vækkende Indflydelse, og som et Vidnesbyrd om taknemmelig Paaskjønnelse af hans Virksomhed for at udbrede Kundskabens Lys i videre Kredse.«

#### Ørsted og Grundtvig

Hvis man i dag skal udpege en foregangsmand for den folkelige oplysning, vil valget nok falde på N. F. S. Grundtvig snarere end på Ørsted. De to åndspersonligheder var uenige i mangt og meget, hvilket førte til offentlige stridigheder mellem dem, men de var dog begge varme for-



Maleri af Poul la Cour. Malet i 1914 af Johan C. Schlichtkrull efter fotos.

talere for folkelig oplysning. På den anden side var deres oplysningsvisioner helt forskellige. Mens Ørsted ensidigt fokuserede på naturlæren, var Grundtvigs idéer lige så ensidigt centreret omkring kristendom og nationalhistorie, hvorimod han ganske så bort fra naturvidenskab og teknologi. De folkehøjskoler, der bredte sig over landet i sidste halvdel af 1800-tallet, var i vidt omfang grundtvigiansk inspirerede og uden islæt af naturvidenskabelig undervisning.

Som en lysende undtagelse fra denne regel må dog nævnes Poul la Cour, der fra starten af 1880'erne i høj grad inddrog fysik, kemi, teknologi og matematik i sin innovative undervisning ved Askov Udvidede Højskole. Fysikeren og opfinderen la Cour var grundtvigianer og fundamentalistisk kristen, men han var også videnskabsoptimist i Ørsteds ånd. Ligesom denne betragtede han naturlæren som en nødvendig og vigtig del af det nationale oplysnings- og dannelsesprojekt. I denne henseende var la Cour dog en enlig svale i højskolebevægelsen.

#### Dengang og nu

I dag er formidling af videnskab en storindustri. Elementer af både Ørsteds og Grundtvigs visioner indgik i høj grad i Folkeoplysningsloven fra 1990, der ikke blot omfatter højskoler og folkeuniversiteter, men også en lang række andre aktiviteter. Man kan nemt få det indtryk, at nutidens forskere er mere interesseret i folkelig formidling end i fortiden, men det er næppe tilfældet.

Situationen på Ørsteds tid var en ganske anden end i dag, idet formidling og oplysning dengang ikke var offentligt støttet, og desuden var antallet af forskere næsten latterligt lavt i forhold til i dagens Danmark. Det samlede antal danske kemikere var højst 20, og antallet af fysikere var lavere. Den indsats, som Ørsted og kredsen om ham gjorde for at udbrede kendskabet til naturlæren, tåler relativt set nemt sammenligning med nutidens ind-

og om "Den teknisk-mineralogiske kemi" (Forchhammer).

Det ørstedske selskab var københavnsk, men bredte sig hurtigt til det meste af kongeriget, hvor lokale kræfter og flittige "rejsелеktorer" holdt forelæsninger om naturvidenskaben og dens velsignelser. Disse velbesøgte begivenheder fandt ikke blot sted i de større byer som Randers, Viborg, Flensborg og Aalborg, men også i de mindre provinsbyer i udkantsdanmark, herunder Maribo, Rønne, Kalundborg og Nakskov. I perioden fra cirka 1835 til 1848 var der provinsforelæsninger i 19 byer med et samlet antal tilhørere på omkring 3.500.

#### Arven efter Ørsted

Selskabet havde sin storhedstid i perioden indtil omkring 1860, hvor det var landets vigtigste institution til folkelig oplysning om naturvidenskaben og dens anvendelser. Med hensyn til selskabets andet hovedformål, nemlig at føre til



## Undervisningsmaterialer

Så er et nyt skoleår i gang! Har du brug for inspiration til gymnasieundervisningen, er der masser at hente på [AktuelNaturvidenskab.dk](http://AktuelNaturvidenskab.dk) under punktet undervisningsmateriale.

Et godt sted at starte er for eksempel *Faglig læsning af naturvidenskabelige artikler*, som er en skabelon, som kan anvendes til målrettet faglig læsning af artikler fra Aktuel Naturvidenskab. Skabelonen kan anvendes på alle niveauer. Man kan både arbejde med artikler som elevernes forberedelse derhjemme (især på A og B-niveauer) eller som gruppearbejde i timerne.

Et andet nedslagspunkt kan være *Arbejdsark om naturvidenskabelig metode*, der knytter an til artiklen *Louis Pasteur og den spontane genese* fra AN nr. 3/2015. Artiklen kræver ingen særlige forudsætning

ger og kan for eksempel anvendes i naturvidenskabeligt grundforløb, biologi eller bioteknologi, hvor man ønsker at belyse den naturvidenskabelige metode. Artiklen kan også indgå i et forløb i biologi om 'livets opståen' eller om 'mikroskopisk liv'. **Fag:** Naturvidenskabeligt grundforløb, biologi C, B, A eller bioteknologi A.

Prøv quizen om Hiawatha-krateret, som bygger på artiklen i dette nummer: *Meteorkrater i Grønland kan fortælle om klima*. Du kan også finde mange andre quizer på Aktuel Naturvidenskab hjemmeside.

## ABONNEMENTS-SERVICE

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

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

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

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

### Til nye abonnenter:

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

## OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

### Styregruppe

- **Birgitte Lyhne Broksø**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Mette Christina Møller Andersen**, specialkonsulent, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Sanne Holm Nielsen**, kommunikationsmedarbejder, Aalborg Universitet
- **Søren Rud Keiding**, direktør for AIAS (Aarhus Institute of Advanced Studies), Aarhus Universitet

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

**Layout:** Jørgen Dahlgaard

**Tryk:** Jørn Thomsen Elbo A/S

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

**Oplag:** 5.600



### Redaktionsgruppe

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

### Redaktionen:

**Tlf.:** 87 15 20 94

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

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

**Facebook.com/aktuelnaturvidenskab**

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

### Omslagsfoto:

Indsamling af stenprøver i Ingfield Land, Grønland.  
Foto: A.S. Søndergaard.

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

# Find en sø

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

**H**vad; er søen blevet væk?! Eller findes der mon masser af uopdagede søer derude i det danske landskab, som bare venter på at blive fundet? Eller hvad er det mere konkret, der gemmer sig bag titlen på projektet *Find en sø*, som biolog og forsker ved Syddansk Universitet Sara Egemose står bag. Jeg tager straks kontakt til Sara for at opklare sagen.

Det viser sig, at der bag opfordringen gemmer sig et såkaldt Citizen Science Projekt, der går ud på at få skole- og gymnasieklasser samt almene borgere til at indsamle vandprøver fra søer og vandhuller over det ganske land.

»Vi vil gerne have et overblik over vandkvaliteten i de danske søer, og hvordan den afhænger af eksempelvis søtype, størrelsen eller om søen ligger i byen eller i det åbne land. Det kan nemlig hjælpe os med at give bedre svar på, hvordan vi kan forbedre vandkvaliteten i de søer, som har det dårligt på grund af algevækst, uklart vand eller lav biodiversitet«, fortæller Sara.

Og det kan danskerne altså hjælpe forskerne med – i hvert fald hvis de bor på Fyn eller har et ærinde der i den nærmeste fremtid, da indleveringsstederne for vandprøverne primært er biblioteker i Fynsområdet.

## Noget for noget

At tage en vandprøve til videnskabeligt brug kræver heldigvis ikke en ph.d.-grad. Alt hvad man skal bruge er en vandflaske eller en almindelig frysepose, og så skal man downloade en app til registrering, hvor man også kan blive instrueret i, hvad man præcist skal gøre.

»Vi har gjort meget ud af at gøre det så simpelt som muligt, for ellers giver folk op på forhånd,« siger Sara. Hun har en del erfaring i at engagere offentligheden i sin forskning, idet hun i mange år



Foto: Kåre Krogstrup

En borger i færd med at indsamle en vandprøve til Sara.

har fået hjælp fra borgere til at indsamle vandprøver – også før nogen i Danmark kaldte den slags for Citizen Science.

»Min erfaring er, at borgerne meget gerne vil hjælpe, hvis de føler, at projektet har en betydning for deres lokalområde – for eksempel ved at hjælpe med at forbedre miljøet lokalt. Derfor er det vigtigt at tænke over, hvad man giver borgerne igen, når man beder dem om hjælp«, siger Sara.

Hun fortæller, at hun for eksempel har fået begejstrede tilbagemeldinger fra borgere, der har oplevet, at familieudflugten fik helt ny mening, når den kunne bruges på at indsamle vandprøver.

## Håber på 100-vis af prøver

I skrivende stund er indsamlingen i fuld gang, og Sara og hendes kolleger følger spændt med i, hvor mange prøver der kommer ind. »Vi håber på at få vandprøver, der kan tælles i "hundreder"«, siger Sara. »Vi håber også på, at prøverne vil dække mange forskellige typer af søer. Styrken ved at inddrage borgere er, at man kan få prøver fra masser af små vandhuller, mergelgrave eller regnvandsbassiner,

som man normalt ikke får prøver fra, fordi folk netop tager et meget lokalt udgangspunkt og for eksempel kommer i tanke om, at "der ligger da vidst et vandhul på bedstefars grund".«

Man kan deltage i indsamlingen indtil 30. september, så der er stadig tid til at komme ud at få lidt luft og hjælpe forskningen samtidig. I runde tal findes der cirka 200.000 søer og vandhuller i Danmark, så der er nok at tage af og næppe fare for trængsel og deraf følgende coronasmitte-fare fra andre vandprøveindsamlere. ■

Scan koden og deltag inden 30/9.

