

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI  
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL  
*natur* VIDENSKAB

**STJERNERNES SANG  
RØBER DERES INDRE**

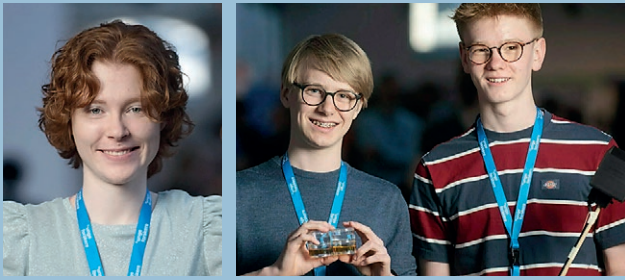
RNA-teknologi:  
Det næste kvantespring i udviklingen af lægemidler

Blomsterplanternes historie

Naturvidenskabens sproghistorie:  
Ord om viden

NR.3 - 2023 JULI 50 KR.

# NOTER



Fotos: Jacob Vind

## Unge Forskere høster medaljer ved VM

For første gang nogensinde blev to danske projekter præmieret med medalje i konkurrencen REGENERON ISEF, som betragtes som VM i Science for unge. Emma Weiss Nielsen fik således en tredjeplads for et projekt om snefnugs aerodynamiske forhold, mens Anders Lendal Holm og Theodor Sivager fik en fjerdepræmie for deres projekt om såkaldte tuned liquid dampers, hvor en væske anvendes til at dæmpe svingninger. Ved den internationale konkurrence deltog også Bertram Nielsen, og alle danske deltagere har kvalificeret sig gennem konkurrencen Unge Forskere i 2022.

Kilde: [Ungeforskere.dk](http://Ungeforskere.dk)

## Abeskønne portrætter

Den prisbelønnede dyrefotograf og zoolog Mogens Trolle har rejst verden rundt med sit kamera for at fotografere primater i øjenhøjde. Fra den 17. maj 2023 til 25. februar 2024 kan du som en del af udstillingen *Aber – vores vilde familie* på Statens Naturhistoriske Museum opleve ti af hans mest udtryksfulde abeportrætter, som giver os et unikt indblik i primaternes følelsesliv og brug af mimik.



Foto: Mogens Trolle



## Hæder til roman rig på naturvidenskab

Pladetektonikken er i dag den store samlende teori indenfor geologien. Men dens etablering i fagverdenen – ikke mindst i Danmark – forløb ikke uden sværdslag. Denne videnskabs-historiske begivenhed danner bagtæppet for handlingen i geolog og forfatter Keld Conradsen nyeste roman *Byen og havet*. En roman, som handler om relationer og sammenhænge på tværs af årtier og om den geologiske videnskabs store erkendelser. Den naturvidenskabsrige bog har nu vundet DR Romanprisen som årets bedste roman.

Kilde: DR

## Quizzen

Hvor høj skal temperaturen være i centrum af en gassky, før to hydrogenkerner kan smelte sammen til en heliumkerne?

1. Ca. en million grader
2. Ca. 10 millioner grader
3. Cirka 100 millioner grader

Find svaret i artiklen: [Stjernernes sang røber deres indre.](#)



Foto: Maithe Ivarsson

## Selvkørende biler forstår ikke sociale koder

På baggrund af en analyse af 18 timers Youtube-videoer af selvkørende biler, konkluderer forskere – heriblandt Barry Brown fra Datalogisk Institut ved Københavns Universitet – at selvkørende biler stadig kæmper med at navigere i det komplekse sociale spil, der finder sted i trafikken. Resultaterne viser, at de selvkørende biler har særligt svært ved at forstå, hvornår de skal vige, og hvornår de skal køre, så trafikken bare glider. At kunne begå sig i trafikken bygger nemlig på langt mere end bare trafikregler. Sociale interaktioner som kropssprog spiller en stor rolle, når vi signalerer til hinanden i trafikken. Og her er de selvkørende biler bare ikke godt nok programmeret endnu, hvilket både kan være irriterende og farligt.

Kilde: [Science.ku.dk](http://Science.ku.dk)



Foto: Maithe Ivarsson

## Engagerende videnskabsformidling

I weekenden 26.-28. maj blev festivalen om natur og videnskab, Bloom, afholdt i København. I den forbindelse blev en ny formidlingspris – SoMe Science Award – overrakt til videnskabsformidler og tv-vært Lasse Winther for at have udbredt viden gennem utraditionelle kanaler. Lasse Winther når et yngre publikum gennem videoer med forsøg, explainers, interaktion og humor på sine kanaler på YouTube og TikTok og som "wintherdrengen" på Instagram. SoMe Science Award er støttet af Novo Nordisk Fonden.

Kilde: [somescience.dk](http://somescience.dk)

# indhold



## Stjernernes sang røber deres indre

En gruppe astrofysikere fra Aarhus Universitet lytter til stjernernes musik. Med en teknik kaldet asteroseismologi får de også et unikt indblik i en stjernes indre og kan for eksempel finde ud af, hvor langt den er nået i sin udvikling.

8



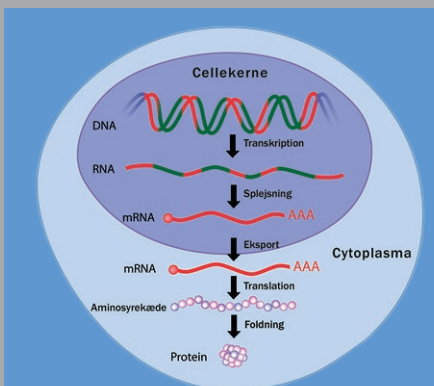
## Blomsterplanterne førte biodiversiteten til usete højder

Planternes udvikling af utallige landlevende arter siden Kridttiden skabte en økologisk revolution blandt tilknyttede insekter, edderkopper, hvirveldyr og svampe, som bragte biodiversiteten til helt nye højder.

22

## FORSKNING OG NYHEDER

- 4 KORT NYT
- 8 Stjernernes sang røber deres indre
- 14 Hvis lys trænger gennem denne mur, er vi på sporet af mørkt stof
- 16 RNA-teknologi: Det næste kvantespring i udviklingen af lægemidler
- 22 Blomsterplanterne førte biodiversiteten til usete højder
- 28 Service
- 30 Planeten, der ikke var
- 34 Ord om Viden – Viden om Ord
- 38 Videnskabsklubben: Når naturvidenskab bliver en leg
- 44 BAGSIDEN: Kysset er oldgammelt, og det smitter!



## RNA-teknologi: Det næste kvantespring i udviklingen af lægemidler

Teknologien på spring til at revolutionere behandlingen af en lang række sygdomme, som vi i dag ikke kan gøre noget ved.

16



## Videnskabsklubben: Når naturvidenskab bliver en leg

Mange børn mister interessen for naturvidenskab gennem deres tid i folkeskolen, men i Videnskabsklubben strømmer de til for at blive undervist af ældre elever fra gymnasiet.

38

## AKTUEL NATURVIDENSKAB

### Udgiver

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

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

### Ansvarshavende

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

### Redaktion

Redaktører Carsten Rabæk Kjær og Jørgen Dahlggaard  
Tlf.: 3036 0660 / 3036 0662 / 8715 2094

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



AALBORG UNIVERSITET



AARHUS UNIVERSITET



KØBENHAVNS UNIVERSITET



DET NATURVIDENSKABELIGE FAKULTET



DET TEKNISKE FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-  
ABONNENTER



novo nordisk®

# Kroniske smerter og epigenetik

Det har indtil nu været en gåde, hvorfor nogle mennesker udvikler kroniske smerter efter en operation, mens andre ikke oplever samme smerter. Smerteforskere fra Aalborg Universitet (AAU) og Aalborg Universitets-hospital (AUH) har nu fundet en sammenhæng mellem udviklingen af kroniske smerter og patienters epigenetiske profiler. Epigenetik drejer sig om kemiske modifikationer af vores DNA, som ikke ændrer selve DNA-sekvensen, men som har betydning for, hvordan generne bliver udtrykt i organismen. Igennem fem år har forskergruppen, der er ledet af professor dr. med. Lars Arendt-Nielsen fra Aalborg Universitet i samarbejde med Rocco Giordano og Kristian Kjær Petersen, fulgt en gruppe knæopererede patienter. Undersøgelserne viser, at de patienter, der var plagede af smerter et år efter knæoperationen, allerede før operationen havde en markant anderledes epigenetisk profil i forhold til dem, der ikke oplevede smerter.

»Smertesystemet er et paradoksalt system, hvor den samme tilstand medfører kroniske



Foto: Shutterstock

smerter hos nogle, men ikke hos andre,« siger professor Lars Arendt-Nielsen og fortsætter:

»Vores forsøg viser, at forskellige miljøpåvirkninger gennem livet har skabt en speciel epigenetisk profil hos den gruppe af patienter, som gør, at disse patienter er mere tilbøjelige til at udvikle kroniske smerter efter operationen.«

I forsøget har forskerne fundet ud af, at omkring hver femte slidgigtpatient udvikler smerter efter en ellers teknisk vellykket udskiftning af knæet. Eftersom de danske sundhedsregistre oplyser, at i omegnen af

10.000 knæ bliver udskiftet om året i Danmark, betyder det, at cirka 2000 patienter fortsat har smerter et år efter deres operation. Netop publicerede resultater viser, at fem år efter operationen har de patienter, der har oplevet kroniske smerter, stadig et meget anderledes smertesystem.

»Tilsyneladende har de epigenetiske forhold før operationen medført, at patienterne nu er i en i slags lav betændelseslignende tilstand for kroppen, hvor en række biokemiske markører er ændret. Disse markører har relation til den smerteintensitet,« som patienterne oplever, siger Lars Arendt-Nielsen.

Ifølge Lars Arendt-Nielsen er denne viden helt ny og kan potentielt set bruges til at skræddersy den rette behandling til en patient og give nye muligheder for, at man før operationen kan forsøge at påvirke de epigenetiske forhold, så patienten ikke kan udvikle kroniske smerter.

Jeannette Bylov, AAU Kommunikation.

# Kamerateknologi skal lette genbrugen af plast

Plastik er i dag svært at genanvende, fordi plastikaffald er et mismask af en lang række forskellige polymerer med forskellig kemisk sammensætning, samt fyldstoffer som farvestoffer, flammehæmmere og andre additiver, der giver et plastikprodukt dets specifikke egenskaber.

Et dansk trekløver bestående af Aarhus Universitet (AU), Syddansk Universitet (SDU) og virksomheden Newtec Engineering A/S vil nu udvikle en unik kamerateknologi, der for alvor kan gøre det lettere at genanvende plastikmaterialer.

Forskerne vil udvikle et meget højopløseligt såkaldt hyperspektralt kamera, som hurtigt og effektivt kan automatisere genkendelsen af forskellige typer af plast, således at plasten kan sorteres i så rene fraktioner som muligt. I dag kræver genanvendelse, at renheden af fraktionerne er mindst 95%, og denne renhed skal forbedres, hvis genanvendelsen skal øges.



Foto: Colourbox

Med hyperspektral kamerateknik optager man billeder med mange flere specifikke farvekanaler end med et regulært RGB-kamera, som kun har 3 (rød, grøn og blå). Målet i projektet er, at det hyperspektrale kamera skal opnå en spektral rækkevidde fra omkring 400 nm til 1.900 nm med en opløsning på

kun 2 nm. Det er et meget ambitiøst mål for teknologien og vil gøre det muligt at afsløre eksempelvis uønskede brandhæmmere og pigmenter i plastikken. Stoffer, der kan være forbudte eller skadelige, og som således kan blive fjernet inden genanvendelse.

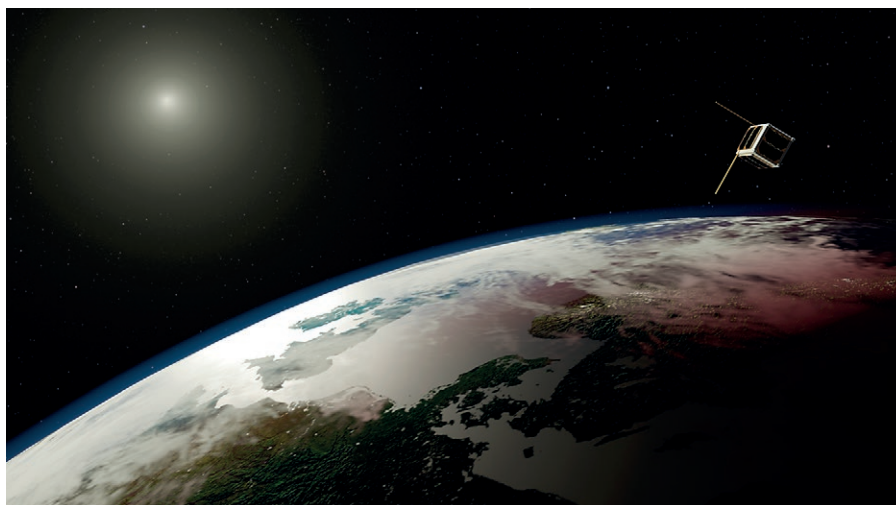
Mogens Hinge og forskningsgruppen Plastics and Polymer Engineering på Aarhus Universitet, der leder projektet, har tidligere bevist, at hyperspektral kamerateknologi kan revolutionere genanvendelse af plastik. Og jo højere opløsning og jo bredere spektralt område, det hyperspektrale kamera har, jo bedre. De ambitiøse mål for teknologien stiller strenge krav til kameraets optiske komponenter, og den udfordring skal løses i samarbejde med SDU NanoSyd, hvor Lektor René Lyng Eriksen står i spidsen for udviklingen af optikken. Projektet er støttet med 7,9 millioner kr. fra Innovationsfondens Grand Solutions program og har et samlet budget på 11,3 millioner kr.

Jesper Bruun Petersen, AU Engineering

## Studerende sender DISCO i rummet

**D**en 15. april lykkedes det endelig – efter fire aflyste forsøg – at opsende den danskbyggede satellit DISCO-1 med en Falcon-9-raket fra Vandenberg Space Station i Californien, USA. DISCO-1 er en såkaldt cubesat – en satellit på kun 10x10x10 cm med en vægt på cirka 1 kg., og den er et fællesprojekt for studerende ved flere danske universiteter – Aarhus Universitet, Aalborg Universitet, Syddansk Universitet og IT-universitetet. Efter satellitten blev frigjort fra rumfartøjet gik der nogle dage med svedige hænder, da det ikke umiddelbart lykkedes at få kontakt til den. Men efter fire dages solrejse lykkedes det at få kontakt, og så viste målinger også, at DISCO-1 havde det godt. Faktisk kunne de studerende til deres overraskelse måle en højere spænding på batteriet end de havde kunnet måle, mens satellitten stadig befandt sig på Jorden.

I skrivende stund befinder satellitten sig omkring 500 km over Jordens overflade, og over de næste cirka to år vil den langsomt falde til



Fotocollage: Mads Fredslund Andersen

den når ned til en højde på omkring 300 km, hvorefter den vil brænde op i atmosfæren. I den mellemliggende periode vil de studerende teste og optimere teknologien, mens de arbejder på næste satellit-mission. DISCO-1 er nemlig i virkeligheden en testmission forud for DISCO-II, som efter planen skal opsen-

des i sommeren 2024. DISCO-II vil blive cirka 3 gange større, og den kommer til at rumme tre kameraer – to optiske og et infrarødt. Kameraerne skal bruges til at tage billeder af Grønland, som kan støtte klimaforskningen.

CRK

## Bakterie kan være genvej til at forbedre planter

**F**orskere har opdaget, at en lang række planter indeholder nogle specifikke gener (såkaldte root oncogenic loci (rol)-gener), som oprindeligt stammer fra bakterien *Rhizobium rhizogenes*, og som er blevet indsat i planterne for flere millioner år siden.

Omtrent sådan blev en af vores ældste afgrøder – sødkartoffel (*Ipomoea batatas*) – til den, som den er i dag. Det samme skete for te og flere andre planter. Fælles for dem er, at de fik nye gener og nye egenskaber – en gave fra bakterien *Rhizobium rhizogenes*, der har den særlige evne at kunne overføre en række gener til planter og derved ændre dem. Denne evne forsøger Henrik Lütken fra Institut for Plante- og Miljøvidenskab, Københavns Universitet nu at udnytte til menneskets fordel.



Henrik Lütken inspicerer rapsplanter, som er modificeret ved hjælp af bakterien *Rhizobium rhizogenes*. Foto: Københavns Universitet

»Den her utrolige bakterie kan tilføje nogle af dens gener til planter i en proces, der kaldes transformation. På den måde kan den give dem en række nye fordele – og indimellem nogle ulemper. Som forskere kan vi så genskabe og fremskynde denne proces og vælge de bedste resultater ud, så vi på en naturlig måde, kan få forbedrede blomsterplanter, afgrøder, fødevarer og meget andet, ligesom

det skete for millioner af år siden i naturen,« forklarer Henrik Lütken.

Forskerne har også brugt bakterien til at forædle potteplanten koraltop, så den er blevet mere kompakt. Noget som gartneri-industrien efterspørger. I arbejdet med potteplanterne bemærkede Henrik Lütken og hans forskningshold, at de transformerede planter også fik væsentligt flere og længere rødder, hvilket fik dem på sporet af en hypotese:

Bakteriens gener kan måske være med til at gøre planter tørkeresistente.

»Det er vi nu i gang med at bevise i et "Villum experiment"-projekt, ved at teste både vilde planter uden gener fra bakterien, og planter vi har forandret med hjælp fra den, i et tørkeforsøg,« forklarer Henrik Lütken.

Kristian Bjørn Hansen, Københavns Universitet

# Nyt om De Vestindiske Øers indvandringshistorie

**D**a Christopher Columbus kom til de nuværende Amerikanske Jomfruer (som tidligere hed De Vestindiske Øer) på sin anden rejse over Atlanterhavet i 1493, var øerne allerede beboede. Men hvordan og hvornår øerne St. Croix, St. John og St. Thomas oprindeligt blev befolket, er usikkert. Nu er det endelig lykkedes et forskerhold at give et naturvidenskabeligt funderet bud på gåden.

Et internationalt forskerhold fra USA, Argentina, Storbritannien og Danmark, bestående af blandt andre professor Kaare Lund Rasmussen fra Syddansk Universitet og Casper Toftgaard fra Nationalmuseet har nemlig haft adgang til at foretage de første naturvidenskabelige dateringer af 128 arkæologisk udgravede potteskår fra syv forskellige lokaliteter på øerne, og deres resultater kan nu sammenholdes med arkæologernes tidligere dateringer, som var baseret på stil-analyser, fundsted og kulstof-14-datering af de omgivelser, potteskårene blev fundet i.

»Det er første gang, man laver en naturvidenskabelig datering af selve de potteskår,



Foto: SDU.

som er blevet efterladt af øernes tidligere beboere. Det giver en bedre datering af den kultur, der herskede på øerne, fordi potteskårene er den absolut vigtigste arkæologiske fundgruppe i det varme tropiske klima», siger professor ved Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, Kaare Lund Rasmussen, der har stået for de kemiske analyser.

Med de nye termoluminiscens-dateringer af potteskårene har forskerne afsløret, at flere forskellige stilarter har været til stede på samme tid på øerne. Det tyder på, at flere forskellige kulturer har befundet sig på det

samme sted samtidig – eller i hvert så fald så tæt på hinanden, at de kunne handle med hinanden. Og det modsiger til en vis grad den hidtil herskende teori, der går ud på, at indvandringen til øerne fandt sted i tre på hinanden følgende bølger sydfra; nærmere bestemt fra floden Orinocos udmunding i Venezuela.

Eksempelvis er der fem karakteristiske stilarter, der er fundet flere forskellige steder på de tre øer i et tidsrum, som forskerne daterer til 600-1200 e.v.t.

»Det indikerer, at disse fem forskellige folkeslag kan have boet på disse steder i det nævnte tidsrum. Måske ikke hele tiden – måske er man kommet og er rejst igen, for så atter at vende tilbage; men man har i hvert fald været inden for handelsafstand af hinanden. Det ser ud som om, rejserne er foregået i flere retninger, for eksempel både mod nord og mod syd,« forklarer Kaare Lund Rasmussen.

Brigitte Svennevig, Syddansk Universitet. Kilde: *Heritage Science* vol. 11, Art. No: 110 (2023)

## Bananfluer giver ledetråd om tidlig pubertet

**S**amtidig med at der bliver flere og flere overvægtige børn i verden, går børnene også tidligere og tidligere i puberteten. Det gælder ikke mindst pigerne. For hvert årti siden 1977 er pigers pubertet gennemsnitligt startet tre måneder tidligere, har en kortlægning vist.

Man gætter på, at der kan være forskellige årsager til tidlig pubertet, men der findes ingen klare videnskabelige svar. Men nu har et forskerhold fra Biologisk Institut på Københavns Universitet sandsynligvis fundet en del af svaret i en type modelorganismen, der genetisk minder meget om mennesker – nemlig bananfluer.

»Kolesterol er et fedtstof, og er man overvægtig, har man mere kolesterol i sit fedtvæv. Og netop kolesterol er nøglen til tidligere kønsmodning i vores dyremodel, bananfluen. Vores resultater viser, at mængden af

kolesterol i fedtvævet og i nogle bestemte støtteceller i hjernen påvirker bananfluernes vækst og styrer, hvornår de bliver kønsmodne,« fortæller professor Kim Rewitz fra Biologisk Institut, der er seniorforfatter på studiet udgivet i tidsskriftet *Current Biology*.

Han fortsætter: »Og fordi systemet i bananfluer og mennesker ligner hinanden utrolig meget, tror vi, at det samme gælder for mennesker – altså at kolesterol i fedtvævet kan være med til at forklare sammenhængen mellem overvægt hos børn og tidlig pubertet.»

Han og resten af forskerholdet fra Biologisk Institut testede deres hypotese ved at sætte bananfluelarver på en "fedekur" af kolesterolrig kost. Deres udvikling blev så sammenlignet med larver, som ikke havde fået ekstra kolesterol i diæten.

»Vi kunne se, at larverne på kolesterolkur

konsekvent voksede hurtigere og gik tidligere i "pubertet". Det viste sig, at den større mængde kolesterol i bananfluernes fedtvæv og støtteceller i hjernen øger frigivelsen af nogle væksthormoner, som får dyret til at vokse hurtigere. Og netop væksten er den signalflytte, der fortæller kroppen, hvornår den skal sætte gang i puberteten,« siger Kim Rewitz.

Kim Rewitz håber, at andre forskere nu vil følge op på dette studie med pattedyrmodeller og senere mennesker. Han er nu sammen med sine forskerkolleger gået i gang med at kigge videre på kolesterol-mekanismens betydning for udviklingen af cancer. Deres forskning viser nemlig også, at kolesterol via samme mekanisme kan aktivere celler til at vokse og dermed udvikle kræft.

Maria Hornbek, Københavns Universitet. Kilde: *Current Biology* 32, 1548-1562 (2022)



# VIRKSOMHEDER SØGER GYMNASIER

- der vil samarbejde om et undervisningsforløb



Scan og find et forløb med en virksomhed tæt på dit gymnasium

[nvhus.dk/gymnasier](http://nvhus.dk/gymnasier)

Gør din undervisning praksisnær og anvendelsesorienteret. Ving kernestof eller supplerende stof af i læreplanen. Sæt karrierelæring på skemaet og vis eleverne, hvad naturvidenskab og teknologi kan bruges til i virkeligheden. Vis dem, hvordan en virksomhed arbejder i praksis med bæredygtighed og FN's Verdensmål. Skab variation i din undervisning. Samarbejd med en virksomhed.

Med det infrarøde rumteleskop James Webb er det blevet nemmere at kigge indenfor på stjernernes fødegang – store skyer af gas og støv som Ørnetågen, hvor stjernedannelsen er intens i det område, der kaldes Skabelsens Søjler.

Foto: NASA, ESA, CSA, STScI; Joseph DePasquale (STScI), Anton M. Koekemoer (STScI), Alyssa Pagan (STScI).

# STJERNERNES SANG RØBER DERES INDRE

**En gruppe astrofysikere fra Aarhus Universitet lytter til stjernernes musik. Ud fra lydbilledet kan de måle og veje stjernerne med imponerende præcision. Med teknikken kaldet asteroseismologi får de også et unikt indblik i en stjernes indre og kan for eksempel finde ud af, hvor langt den er nået i sin udvikling.**

**M**ennesket har altid været fascineret af de lysende prikker, der dukker op på en skyfri nattehimmel. Fascinationen har været forbundet med undren, for det har ikke været nemt at gennemskue, hvordan stjernerne egentlig fungerer. Først i løbet af det seneste århundrede er vi for alvor begyndt at forstå, hvordan stjerner opstår, hvor de får deres energi fra, og hvordan de udvikler sig. Den simple forklaring lyder således:

Stjerner dannes, når en stor interstellar sky af gas og støv begynder at falde sammen. Til at starte med kan sådan en gassky have en masse svarende til mange tusinde gange Solens masse og en ud-

strækning på adskillige lysår. Temperaturen er helt nede på cirka 10 kelvin i skyen, der fortrinsvis består af hydrogenmolekyler, og der er stof nok til masser af stjerner.

Hvor stoftætheden er højest, kan dele af gasskyen begynde at falde sammen under sin egen tyngde. I takt med, at stadig mere gas samler sig, stiger trykket og temperaturen. Gassen kollapser til et varmt, kugleformet objekt, som kaldes en protostjerne.

Hvis koncentrationen af stof bliver så høj i centrum af gasskyen, at temperaturen kommer op i omegnen af 10 millioner grader, bliver det muligt for hydrogenkerner – protoner – at smelte sammen. I en proces, hvor fire protoner fusionerer

og ender som én heliumkerne, frigives den energi, som kendetegner stjernerne.

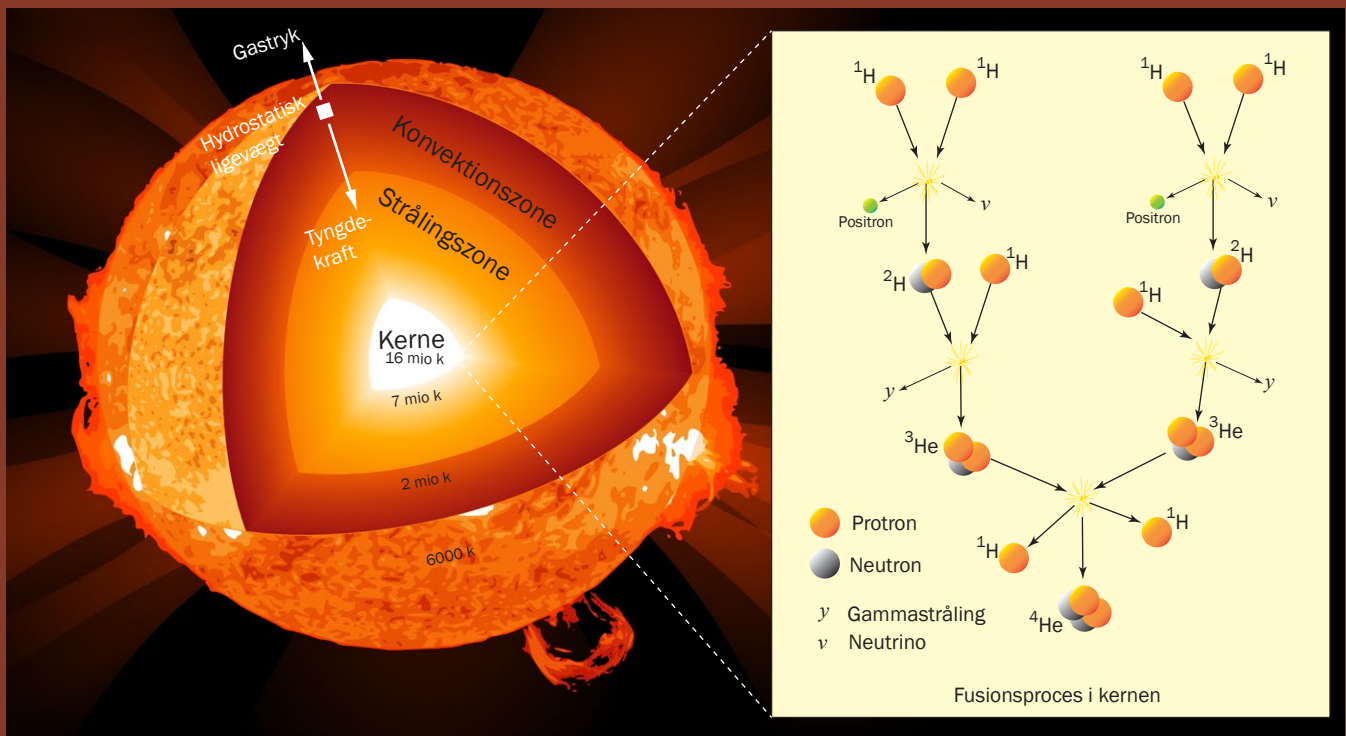
Energien transporteres fra kernen til stjernens yderste lag. Fusionsenergien fra stjernens indre ender som synligt lys og andre former for elektromagnetisk stråling, som stjernen sender ud i verdensrummet.

Tyngdekraften vil stadig forsøge at presse stjernestoffet sammen, men kollapset stoppes af trykket fra den varme gas, der bliver tilført ny energi i samme takt, som den forsvinder ud i rummet. Stjernen finder en balance mellem tyngdekraften og trykket – en hydrostatisk ligevægt, som opretholdes, så længe stjernen kan fusionere hydrogen til helium i kernen.

**Om forfatteren**  
Henrik Bendix er videnskabsjournalist. Vidmere.dk

Hans Kjeldsen holdt i marts måned 2023 foredrag om "Stjernernes vilde liv" i serien Offentlige foredrag i Naturvidenskab. Artiklen bygger på foredraget og er lavet som del af projektet Brobygning på første række, finansieret af Novo Nordisk Fonden.





En stjerne af solens type producerer energi i kernen ved at omdanne hydrogen til helium i en såkaldt fusionsproces. Fusionsprocessen finder udelukkende sted i kernen, hvor temperaturen er højest. Det skyldes, at de positivt ladede atomkerner vil frastøde hinanden, med mindre temperaturen når op på flere millioner grader, hvor atomkernerne i stedet smelter sammen i en fusionsproces.

I kernen er temperaturen 16 millioner grader, og den falder ud mod overfladen. I det indre af Solen trænger energien ud mod overfladen ved hjælp af lyset (fotoner), mens energien i de yderste 30% af Solen flyttes ved det, vi kalder konvektion, hvor store varme bobler af gas stiger op mod overfladen og afgiver deres varme. Når energien når overfladen, sendes den ud i rummet som lys fra den 6000 grader varme overflade.

Dette simple billede af, hvad der foregår i stjernerne, kunne fysikere stykke sammen i første halvdel af 1900-tallet, hvor der begyndte at komme kød på stjernemodellerne. Nu forsøger astrofysikerne fra Stellar Astrophysics Centre, der hører under Institut for Fysik og Astronomi på Aarhus Universitet, at tilføje flere detaljer til billedet.

»På Stellar Astrophysics Centre arbejder vi med den brede forståelse af stjerner, fra lige efter de er dannet, til de nærmer sig deres sidste tid,« fortæller professor Hans Kjeldsen og fortsætter:

»Vi bygger computermodeller af alle slags stjerner – store og små, unge og gamle, fra begyndelsen til slutfasen. Vi tester så, om egenskaberne

for stjernerne i computermodellen er i overensstemmelse med den virkelige verden.«

### Lydbølger farer rundt i stjernerne

Når teorien skal afstemmes med virkeligheden, er der brug for observationer, og det er ikke nemt at kigge ind i stjernerne. Astrofysikerne har kun det lys, der kommer fra de yderste lag af stjernerne, at gå ud fra. Ud fra det må de forsøge at danne sig et billede af, hvad der sker i stjernerne indre.

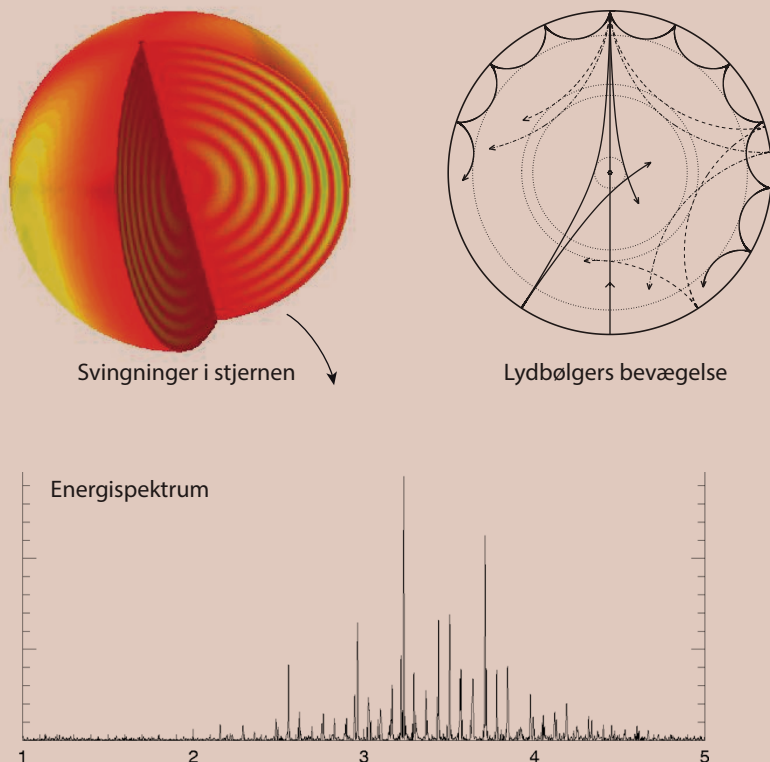
Forskerne fra Stellar Astrophysics Centre har specialiseret sig i at lytte til stjernerne musik. De måler lydbølger, der udbreder sig i stjernerne, ved at kigge på dem udefra. Med asteroseismologi kan forsker-

ne få viden om stjernerne indre på omtrent samme måde, som jordskælvsbølger giver et indblik i Jordens indre.

»Asteroseismologien er en metode til at undersøge stjernerne struktur. Vi måler, hvordan stjernerne pulserer, og vi bruger målingerne til at teste vores stjernemodeller. På den måde kan vi skabe et detaljeret billede af stjernerne udvikling,« fortæller Hans Kjeldsen.

»I modellerne kan vi regne ud, hvad lydets hastighed må være inde i forskellige stjerner, og dermed hvad tonerne, frekvenserne, for svingningerne i en stjerne er. Så kan vi sammenligne med observationer og se, om der er i overensstemmelse med modellen – om lydbilledet

## Asteroseismologi



Svingningerne i stjernen består af en stående lydølge med en bestemt svingningsfrekvens, som afhænger af bølgens struktur (svingningsmønster) og af lydets hastighed. Ved at måle overfladens bevægelse kan man beregne et energispektrum for svingningerne og bestemme svingningsfrekvensen for hver stående bølge, som samtidigt vil indeholde information om lydhastigheden langs lydølgenes bevægelse igennem stjernen.

passer. Hvis ikke, må vi justere modellerne.«

Målinger af stjerneskelv har vist sig at være et kraftfuldt værktøj til at få information om stjernerne. Hvis dataene er gode nok, så svingningerne ikke forsvinder i støj, kan astrofysikerne beregne stjernens masse og radius med ganske stor præcision. For stjerner, der minder om Solen – ikke alt for store, og heller ikke alt for små – kan radii måles med 1-2 procents nøjagtighed, og masserne kan afgøres med en nøjagtighed på 3-4 procent.

Metoden kan også bruges til at aldersbestemme en stjerne, fortæller Hans Kjeldsen:

»Man kan sjesse sig frem til en stjernes alder ud fra dens lysstyrke og masse, men hvis vi skal kende

alderen i detaljer, skal vi se ind i maven på stjernen. Det kan vi kun gøre med asteroseismologi, og det er den helt store styrke ved metoden.«

I takt med, at en stjerne bliver ældre, øges lysstyrken langsomt. Da Solen var ung, lyste den for eksempel kun 70 procent så kraftigt, som den gør i dag. Så ved at måle lysstyrken af en stjerne kan man få en idé om dens alder, men det kræver, at man kender dens masse. En stjernes lysstyrke afhænger nemlig først og fremmest af dens størrelse, og hvis man kun har lysstyrken at gå efter, er det nærmest umuligt at vide, om der er tale om en gammel stjerne eller en ung stjerne, der blot er lidt større – de lyser lige kraftigt.

I asteroseismologien udnytter forskerne, at energiproduktionen i

stjernens indre ændrer på kemien i kernen, idet hydrogen løbende bliver til helium. Lydens hastighed afhænger af mediet og dermed forholdet mellem hydrogen og helium, så frekvenserne af stjernesvingningerne ændrer sig, efterhånden som stjernen ældes.

Med metoden kan forskerne skabe sig et billede af en stjernes struktur, der er så detaljeret, at de kan afgøre, hvor længe den har fusioneret hydrogen til helium i kernen. De kan måle sig frem til en stjernes alder med langt større nøjagtighed, end det ellers er muligt.

### Heliumfusion kan identificeres

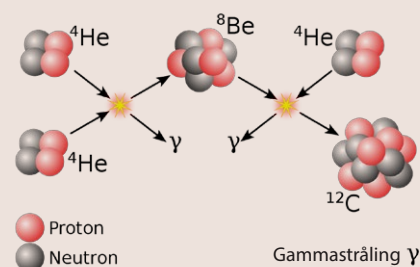
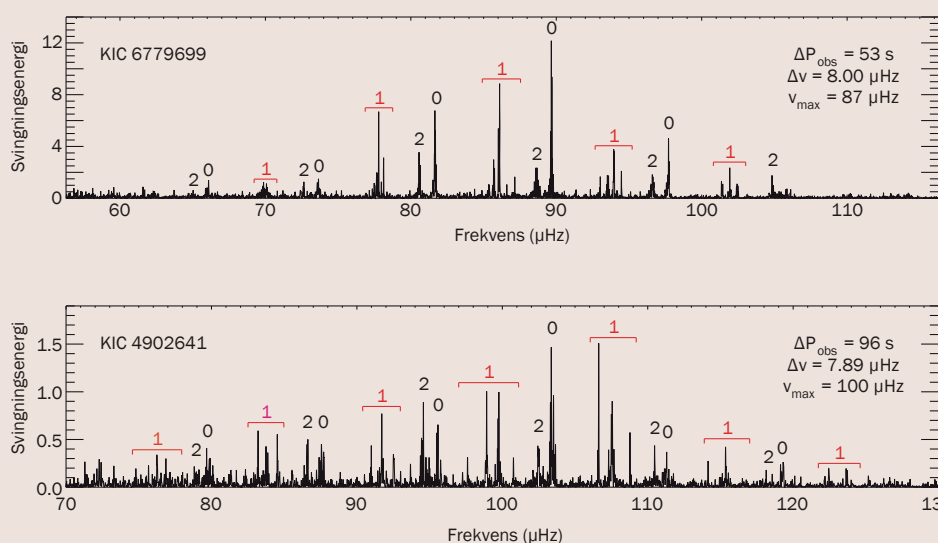
Astrofysikerne kan følge med i stjernernes udvikling, også når de løber tør for hydrogen i kernen. Når det sker, trækker kernen sig sammen, og stjernen begynder at fusionere hydrogen til helium i en skal uden om kernen, der nu kun består af helium. Stjernen svulmer op, og overfladetemperaturen falder – den er på vej til at blive en rød kæmpestjerne.

»Med asteroseismologi kan vi tydeligt se, om en stjerne er færdig med at fusionere hydrogen i kernen. Stjernen går ikke til grunde, når det sker, men den ændrer sig. Vi har for eksempel holdt øje med stjernen  $\mu$  Herkules igennem ni år. Den viser os, hvordan Solen kommer til at se ud om fem milliarder år,« siger Hans Kjeldsen.

»Stjernerne har svingninger svarende til et simpelt musikinstrument, for eksempel et blæseinstrument, hvor der dannes en grundtone og en række overtoner. Afstanden i frekvens er nogenlunde lige stor mellem grundtonen og første overtone og mellem de følgende overtoner. Men en stjerne er ikke et finstemt instrument, og hvis der er en struktur inde i stjernen, svarer det til, at der er en bule i instrumentet.«

»Hvis man så har en stående bølge, der har sit knudepunkt der, hvor stjernen ændrer struktur, så løber bølgen helt skævt og ændrer

## Tegn på helium-fusion



Efter Bedding et al (2011)

De to diagrammer viser svingningsenergien for to forskellige røde kæmpestjerner, som umiddelbart ser ens ud, når vi observerer dem med teleskoperne. Svingningsenergien for forskellige frekvenser afslører dog, at de to stjerner er meget forskellige i deres kerne.

Forskellen skyldes, at stjernen KIC 4902641 (nederste diagram) producerer energi ved kernefusion nær stjernens centrum, hvor tre heliumkerner omdannes til carbon og frigiver energi (figuren til højre). Denne energiproduktion påvirker stjernens opbygning, og det ses

ved, at de såkaldte dipol-svingninger (angivet med "1" i diagrammet) spredes og danner flere svingninger med relativ stor forskel i frekvenserne. Dette er ikke tilfældet for KIC 6779699 (øverste diagram), hvor stjernen endnu ikke er nået til den fase, hvor den producerer energi i kernen ved helium-fusion. Her sker energiproduktionen ved hydrogen-fusion i en skal uden om den heliumholdige kerne, men temperaturen er endnu ikke høj nok til, at helium kan indgå i fusion og danne carbon. Dette ses i svingningerne ved, at dipol-svingningerne ligger tæt og ikke spredes, som det sker for KIC 4902641.

frekvens. Så ved at identificere de frekvenser, der ikke passer i det overordnede billede – ved at se på disharmonier i stjernens musik – kan vi identificere, hvor i stjernen, den ændrer struktur. Det er faktisk det, vi har gjort med  $\mu$  Herkules.»

Efterhånden som stadig mere brint bliver til helium i en stjerne, stiger trykket og temperaturen i kernen, og på et tidspunkt kan helium også begynde at fusionere. Ved en kerntemperatur på cirka 100 millioner grader kan tre heliumkerner blive til en kulstofkerne i en proces, der kaldes triple-alfa. Når det sker, svulmer kernen op igen, for nu er der fornyet energiproduktion.

»Overgangen fra en kompakt, ikke-energiproducerende kerne til en større kerne med heliumfusion ændrer svingningsfrekvenserne

signifikant. Tonerne ændrer sig, klaveret er stemt lidt anderledes. Så vi har fået en teknik, hvor vi kan udpege de stjerner, der endnu ikke er nået til at fusionere helium, og dem, hvor heliumfusionen er i fuld sving. Vi kan præcis identificere den fase i en stjernes udvikling, hvor den tænder for heliumfusion. Det kan vi kun gøre med asteroseismologi,« fortæller Hans Kjeldsen.

### Galaksens historie skrives

Hvor perioden for de største svingninger i en stjerne som Solen er cirka fem minutter, er perioden for de røde kæmper nogle timer eller døgn. Det er nødvendigt at følge stjernerne i lang tid, hvis man skal blive klogere på deres indre. Men det er netop, hvad rumteleskoper som CoRoT, Kepler og TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) har gjort, og hvad det europæiske tele-

skop PLATO (PLANetary Transits and Oscillations of stars), der sendes op i 2026, også vil gøre.

Disse teleskoper er egentlig primært designet til at kigge efter planeter, der kredser om andre stjerner end Solen – de såkaldte exoplaneter – ved at observere den dæmpning af stjernens lys, der skyldes, at en planet passerer ind foran den. Men dataene kan også bruges til asteroseismologi, så forskerne nu har målt svingningerne af titusindvis af stjerner, ikke mindst de røde kæmpestjerner.

Dataene kan blandt andet bruges til galaktisk arkæologi, hvor forskerne forsøger at rekonstruere Mælkevejens historie. Vores galakse har ikke altid set ud, som den gør i dag, for den er resultatet af adskillige galaksesammensmeltninger. Specielt har



## SONG-teleskoper kortlægger stjernernes sang

Stjernerne røber kun deres inderste hemmeligheder, hvis astrofysikerne foretager detaljerede målinger af alle de svingninger, der manifesterer sig på stjernernes overflade. Det kræver særlige teleskoper, der kan være rettet mod den samme stjerne i lang tid, og som kun bruges til asteroseismologi. De skal være forsynet med uhyre præcise spektrografer, der kan bruges til direkte at måle hastigheden af stjernernes overflade, når de skiftevis svinger mod os og væk fra os.

Med rumteleskoper som Kepler og TESS har det været muligt at identificere mange tusinde stjerner med periodiske variationer i lysstyrken forårsaget af stjerne-svingninger, men disse målinger rummer ofte for meget støj til, at de kan afsløre detaljer om stjernernes indre struktur og bruges til at fintune stjernemodellerne.

Derfor står forskerne fra Stellar Astrophysics Centre i spidsen for et netværk af mellemstore teleskoper kaldet Stellar Observations Network Group (SONG), der specifikt bruges til asteroseismologi. Det første teleskop med et meterstort spejl blev taget i brug på den kanariske ø

Tenerife i 2014, og det bruges stadig flittigt til at måle overfladehastigheder helt ned til fire centimeter i sekundet.

Siden er et SONG-teleskop kommet til i Queensland i Australien, og i skrivende stund er astrofysikerne i fuld gang med at måle på stjernen Procyon med begge teleskoper. Et tredje SONG-teleskop, som blev opstillet i det vestlige Kina, er ved at blive flyttet til et højere kinesisk bjerg, så målingerne bliver bedre, og om tre års tid tilføjes et teleskop i New Mexico i USA. Det er planen, at Hawaii også kommer med på vognen.

Med flere teleskoper fordelt rundt omkring på kloden kan forskerne studere den samme stjerne uafbrudt gennem mange døgn, så alle svingningerne – stående bølger med forskellige frekvenser – kommer med. Dem kan der være snesevis af, og hver eneste af dem røber en detalje om stjernens indre, for eksempel hvordan fordelingen af grundstoffer er i de forskellige lag af stjernen, hvordan den roterer, og hvordan den påvirkes af magnetisk aktivitet. Alt sammen noget, der bidrager til en bedre forståelse af stjernernes fysik og udvikling.

SONG-teleskopet på Tenerife.  
Foto: Mads Fredslund Andersen.

Mælkevejen opslugt en del mindre dværggalakser i de seneste 13 milliarder år, og særligt ved hjælp af rumteleskopet Gaia kan astrofysikere finde sporene efter galaxsekollisionerne i form af grupper af stjerner, der ser ud til stamme fra forskellige dværggalakser. De kan så aldersbestemmes med asteroseismologi. I forhold til exoplanetforskningen er det en stor fordel, at de rumteleskoper, der er sendt op for at detektere exoplaneter ved at kigge efter stjerneformørkelser, også kan anvendes til asteroseismologi. Viden om planeterne kræver nemlig viden om stjernerne.

Ud fra graden af formørkelsen kan astrofysikerne beregne exoplanetens diameter i forhold til stjernens diameter, så den præcise måling af stjernens størrelse, som asteroseismologien leverer, giver også et mål for planetens størrelse.

En stjerne og dens planet kredser omkring deres fælles tyngdepunkt, og hvis det med andre teleskoper er muligt at måle, hvor meget stjernen rykker frem og tilbage under påvirkning af tyngdekraften fra exoplaneten, kan man desuden finde planetens masse – forudsat, at man kender stjernens masse,

som også kan beregnes ud fra dens svingninger.

### Exoplaneter måles og vejes

Når man både kender massen og størrelsen, kender man planetens densitet, og så kan man give kvalificerede bud på, om der er tale om en klippeplanet, en gasplanet eller måske en planet, der mest består af vand. Når man kender planetens omløbstid, kan man beregne afstanden til dens stjerne, og så kan man også regne ud, hvor meget energi, planeten modtager fra stjernen og dermed dens overfladetemperatur.

Med den information om stjernerne, asteroseismologien kan give, kan astrofysikerne med ganske stor sikkerhed eksempelvis finde ud af, om en given planet i princippet kan være beboelig, fordi den har en passende størrelse og temperatur.

»Vi kan lave kataloger over stjernernes fundamentale egenskaber med stor nøjagtighed; deres aldre, radier, masser og lysstyrker. Så kan en forsker, der har fundet en exoplanet, slå stjernen op og med det samme få vished om stjernens og dermed planetens alder og også dens størrelse og masse, alt efter hvordan exoplaneten er detekteret,« lyder det fra Hans Kjeldsen.

Med udgangspunkt i asteroseismologi og data fra Kepler-teleskopet har astrofysikere fra Stellar Astrophysics Centre for eksempel fundet ud af, at der ikke findes exoplaneter, der er mindst dobbelt så store som Jorden, men mindre end Uranus og Neptun, blandt de varmeste planeter, der kredser rundt i en bane tæt om deres stjerne. De har nok været der, men det meste af atmosfæren af disse mellemstore planeter må simpelthen være fordampet, så kun

## Om forskeren

Hans Kjeldsen er professor i astrofysik ved Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. Han er centermanager i grundforskningscentret Stellar Astrophysics Center (SAC) og leder af Aarhus Universitets nye tematiske rumcenter, Aarhus Space Center (SpaCe), og sidder derudover i en række bestyrelser og komiteer. Omdrejningspunktet for Hans' forskning er undersøgelser af stjerner og exoplaneter – altså planeter der kredser om andre stjerner end Solen – ved brug af data fra både rumteleskoper og jordbaserede teleskoper. hans@phys.au.dk



Foto: Lais Kruse, AU Foto

klippekernelen er tilbage. Adjunkt Mia Sloth Lundkvist har stået i spidsen for denne forskning.

Ud over at måle, veje og aldersbestemme stjernerne kan asteroseismologi således også bruges til at studere hele galakser og de planeter, der kredser om de enkelte stjerner. De allermest detaljerede målinger, der kræver teleskoper, der er dedikeret til netop den opgave, kan desuden bruges til forfine stjernemodel-

lerne og måske endda give os helt ny viden om fysikken i stjernerne.

Stof kan opføre sig på uventede måder, når temperaturen skal måles i millioner af grader og trykket er langt større, end forskerne er vant til at have med at gøre, så på den måde kan stjernerne fungere som laboratorier for stof under ekstreme forhold. Asteroseismologi er et unikt værktøj til at kigge indenfor hos stjernerne. ■

Roskilde Universitet

# Læs Naturvidenskabelig Bachelor

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

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

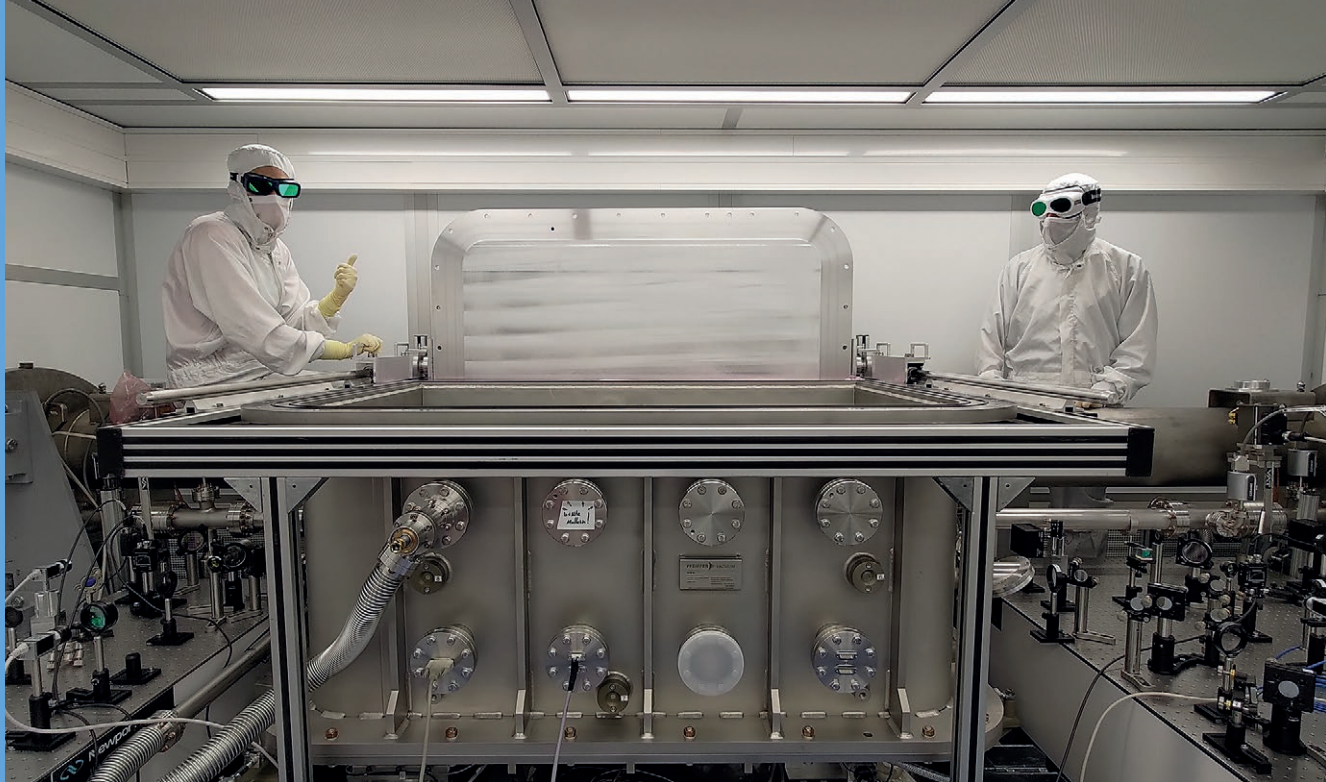
— Max har læst Naturvidenskabelig Bachelor



Foto: Ture Andersen

RUC

Billedet viser det centrale rum ved ALPS II-eksperimentet. Her findes en vacuum-tank, hvori der er monteret en lystæt væg, som axioner – men ikke fotoner – kan passere.  
Foto: DESY, Li-Wei Wei



# HVIS LYS TRÆNGER GENNEM DENNE MUR, ER VI PÅ SPORET AF MØRKT STOF

Om forfatteren



Birgitte Svennevig er journalist ved Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet  
birs@sdu.dk

Om forskeren



Manuel Meyer er lektor og forskningsleder på Institut for Fysik, Kemi og Farmaci. Han har modtaget et European Research Council Starting Grant på 11 millioner kr. til at søge efter mørkt stof i form af axioner og axion-lignende partikler ved hjælp af laboratorieeksperimenter og astrofysiske observationer.  
mey@sdu.dk, webside: axion-alp-dm.github.io

I en tunnel under Hamburg er jagten nu gået ind på en hypotetisk partikel – den ultralette axion. Hvis partiklen eksisterer, kan den nemlig være en kandidat til at udgøre det mørke stof, som udgør 80 % af alt stof i Universet, men som ingen endnu ved, hvad er.

**A**xion er navnet på en hypotetisk elementarpartikel. Det er også navnet på et opvaskemiddel. Det var fysikeren Frank Wilczek, der i 1978 kom op med navnet axion, fordi den nye hypotetiske elementarpartikel ville “clean up” nogle af fysikernes teorier, der på stædig vis ikke rigtigt ville hænge sammen.

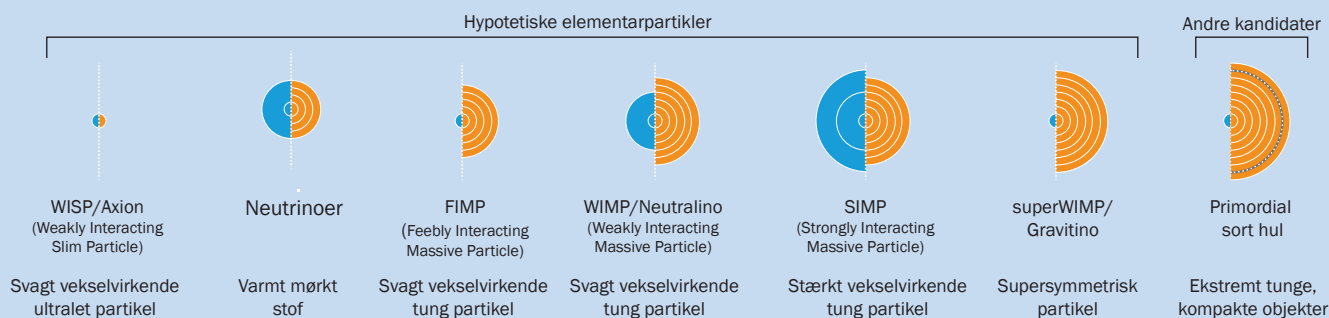
Siden har ingen kunne påvise axionen, men mange fysikere håber på, at disse partikler eksisterer, da det som sagt vil rense ud i teorien, der beskriver hvordan atomkerner holdes sammen og måske især kan løse gåden om, hvad mørkt stof er lavet af.

Mørkt stof udgør cirka 80 % af alt stof i universet, mens de resterende 20 % stof er kendt og udgør for eksempel planeter og galakser og alt det, vi har på Jorden, både natur- og menneskeskabt. Vi kan ikke mærke eller registrere mørkt stof på samme måde som kendt stof; for eksempel bliver vores krop formentlig konstant gennemstrømmet af mørkt stof, uden at vi mærker det. Derfor må fysikerne udtænke avancerede eksperimenter i deres forsøg på at detektere mørkt stof eller en af de partikler, som mørkt stof er lavet af. Hvis det nogensinde lykkes, vil det være et af de helt store gennembrud i fysikkens historie.

**Vil sende lys gennem en mur**

En af de fysikere, der jagter mørkt stof er Manuel Meyer, der er lektor i fysik ved Syddansk Universitet. Manuel Meyer er især optaget af netop axionerne; de hypotetiske elementarpartikler, som vil give så meget mening, hvis de bliver påvist.

I skrivende stund er han og en række andre forskere fra internationale forskningsinstitutioner nu klar til et nyt stort eksperiment i jagten på axionerne: Det drejer sig om eksperimentet ALPS II, der i uger, måske måneder vil sende fotoner (lyspartikler) rundt i et 240 meter langt rør på Deutsches Elektro-



Figuren giver en oversigt over mulige kandidater til at udgøre mørkt stof, hvoraf langt de fleste er hypotetiske elementarpartikler. Forskere leder efter disse mulige kandidater i mange forskellige typer af eksperimenter verden over. Som det fremgår, er der stor forskel på, hvor stor masse de forskellige kandidater har, hvilket for elementarpartiklers vedkommende måles i eV (elektronvolt), og i hvilken grad de vekselvirker med almindeligt stof. Blå farve viser styrken af vekselvirkningen og orange farve massen.

Figur tilpasset efter materiale på [desy.de](https://desy.de)

nen-Synchrotron (DESY) i Hamburg. Det helt særlige er, at der i røret er opsat en mur.

»Det, vi tror og håber på, er, at det kan lykkes en foton at trænge gennem muren. Den vil ikke trænge igennem som en almindelig foton – lys kan ikke trænge igennem en mur – men vi har lavet et set-up, der gør det muligt for fotonen at ændre form til en axion, som godt kan trænge gennem muren, og så blive forvandlet til en foton igen på den anden side af muren. Med andre ord; hvis vi ser en foton på den anden side af muren – og det ikke skyldes en målefejl – så har vi formentlig haft en axion til at gå gennem muren,« forklarer Manuel Meyer.

### Chip kan detektere en enkelt foton

Det, der gør det muligt for en foton at blive omdannet til en axion, er de superledende magneter, der er installeret i røret. Efter magneterne kommer muren, som en axion altså formodentlig vil være i stand til at gå igennem. Selvom forskerne med blandt andet kraftige laserstråler, spejle og resonatorer prøver at øge sandsynligheden for et skift fra foton til axion og tilbage til foton, er chancerne stadig små: Det er lige så sandsynligt som at kaste 33 terninger, der alle lander ens.

»Hvis vi ser en foton bag muren, vil vi nok først tænke, at der er tale om en fejl, men hvis det ikke er en fejl, så vil det være en revolution. Så har vi detekteret en ny partikel,

der kan ændre form til en foton i et magnetisk felt. Det betyder ikke, at det er en mørkt stof-partikel. Nok kan vi bestemme, hvor stærkt den interagerer med en foton, men vi vil stadig ikke kende dens masse, og vi ved stadig ikke, hvor meget mørkt stof, der er lavet af axion,« siger Manuel Meyer.

Hans rolle i ALPS II-eksperimentet handler om at detektere eventuelle fotoner på den anden side af muren. Til det formål har forskerne en særlig foton-følsom chip, som befinder sig i en såkaldt cryostat, hvor temperaturen er tæt på det absolutte nulpunkt (- 273 grader celsius). Chippen er lavet af wolfram, som ved denne lave temperatur ikke har nogen elektrisk modstand, men derimod bliver superledende, så der kun skal meget lidt til at opvarme den. En enkelt foton er faktisk nok, så den vil blive opdaget af Manuel Meyer og hans

kolleger, der holder øje med chippens temperatur.

»Man kan betragte det som et meget sensitivt termometer, der gør os i stand til kun at få signal fra en foton og ikke alt muligt andet,« forklarer han.

Eksperimenterne ved ALPS II er startet for nylig – i første omgang med apparaturet i en mindre følsom testtilstand, som blandt andet skal afklare tilstedeværelsen af "baggrundslys", som fejlagtigt vil kunne blive tolket som signaler fra axioner. Senere på året starter de egentlig undersøgelser, og forskerne forventer at kunne publicere de første resultater i løbet af 2024. Selv hvis det ikke lykkes forskerne at finde nogen axion-partikler med ALPS II, vil eksperiment flytte grænserne for, hvornår man kan udelukke ultra-llette partikler fra at være axioner med en faktor 1000. ■

### Hvem leder ellers efter mørkt stof?

Der findes rundt om i verden en række forskellige eksperimenter, der på forskellig måde bidrager til at undersøge eksistensen af mørkt stof:

XENON leder efter tunge partikler af mørkt stof i en tank med flydende xenon. [xenonexperiment.org](https://xenonexperiment.org)

CAST bruger en kraftig magnet og optik fra røntgenteleskoper til at lede efter axioner fra Solen. [home.cern/science/experiments/cast](https://home.cern/science/experiments/cast)

ADMX bruger magnetiske felter til at forsøge at omdanne mørkt stof-axioner til mikrobølge-fotoner. [depts.washington.edu/admx](https://depts.washington.edu/admx)

Et instrument (Large Area Telescope, LAT) på NASAs Fermi-satellit kan indirekte detektere mørkt stof gennem gammastråler, der udsendes, når tunge partikler af mørkt stof udslettes (annihileres) eller gennem signaler fra fjerne galakser, der bærer spor af, at fotoner er omdannet til axioner. [www.nasa.gov/content/fermi/overview](https://www.nasa.gov/content/fermi/overview)

**Videre læsning**  
Om eksperimentet ALPS II: [darkmatter-alps.desy.de](https://darkmatter-alps.desy.de)

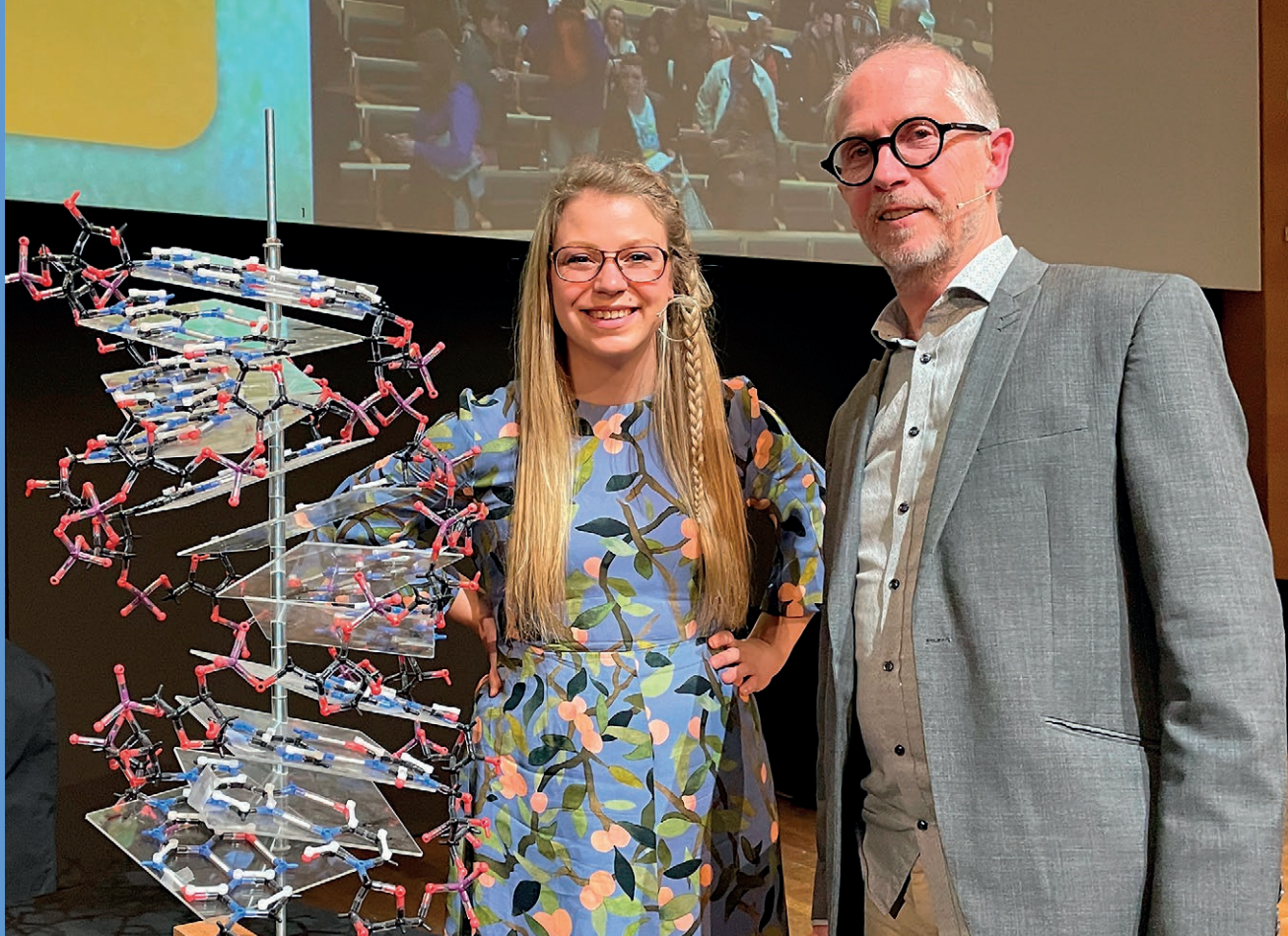
Mere om mørkt stof: Chris Kouvaris og Niklas Grønlund Nielsen: På Sporet af det mørke stof. *Aktuel Naturvidenskab* nr. 2/2016

Franseco Sannino: Universets lyse og mørke sider. *Aktuel Naturvidenskab* nr. 5/2009

Signe Riemer-Sørensen: Jagten på det mørke stof. *Aktuel Naturvidenskab* 5/2007

**Internationalt samarbejde**  
Eksperimentet ALPS foregår på Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) i Hamburg. Udover DESY's forskere deltager også forskere fra Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut), Institut für Gravitationsphysik - Leibniz Universität Hannover, Cardiff University (UK), University of Florida (Gainesville, Florida, USA), Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Universität Hamburg og Syddansk Universitet.

I april måned holdt Jørgen Kjems sammen med postdoc Mette Galsgaard Malle et foredrag om fremtidens RNA-medicin i serien Offentlige Foredrag i Naturvidenskab. Artiklen bygger på dette foredrag.



# RNA-TEKNOLOGI:

## Det næste kvantespring i udviklingen af lægemidler

**Pandemien med COVID-19 bragte for alvor RNA i fokus som en ny og potent platform til at lave vacciner og lægemidler. Nu står teknologien på spring til at revolutionere behandlingen af en lang række sygdomme, som vi i dag ikke kan gøre noget ved.**

**F**ør 2019 havde de færreste hørt om mRNA-teknologi. Endnu færre havde forestillet sig, at de fleste af os inden for et par år ville blive vaccineret med vacciner, som var lavet med mRNA-teknologi. Med COVID-19-pandemien lærte vi dog alle sammen at sige coronavirus, og gennem vaccinerne fra blandt andet Moderna og Pfizer-BioNTech kom vi også til at lære begrebet mRNA at kende.

Selvom de fleste af os først har hørt om mRNA-vaccineteknologi for relativt nylig, er det ikke et nyt fænomen indenfor forskning i lægemidler. Forskning i RNA-teknologi i en lægemiddelsammenhæng har allerede kastet et par Nobelpriser af sig, og i omkring 20 år har forskere forsøgt at udvikle teknologien til ikke bare at lave vacciner mod coronavirus, men også til at kurere en lang række sygdomme fra leversygdomme og muskelsyg-

domme til Parkinsons sygdom og lungesygdomme.

I dag findes der 18 RNA-lægemidler på markedet, hvoraf de fleste er målrettet sygdomme i leveren. Men med succeserne fra pandemien står endnu flere lægemiddelproducenter på spring for at udvikle ny, potent og banebrydende medicin, der kan tage hånd om sygdomme, som vi i dag har meget svært ved at gøre noget ved.

### Om forfatteren

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



En af de forskere, der har dedikeret en stor del af sin forskningskarriere til forskning i RNA-teknologi i en lægemiddelsammenhæng, er professor Jørgen Kjems fra Institut for Molekylærbiologi og Genetik ved Aarhus Universitet.

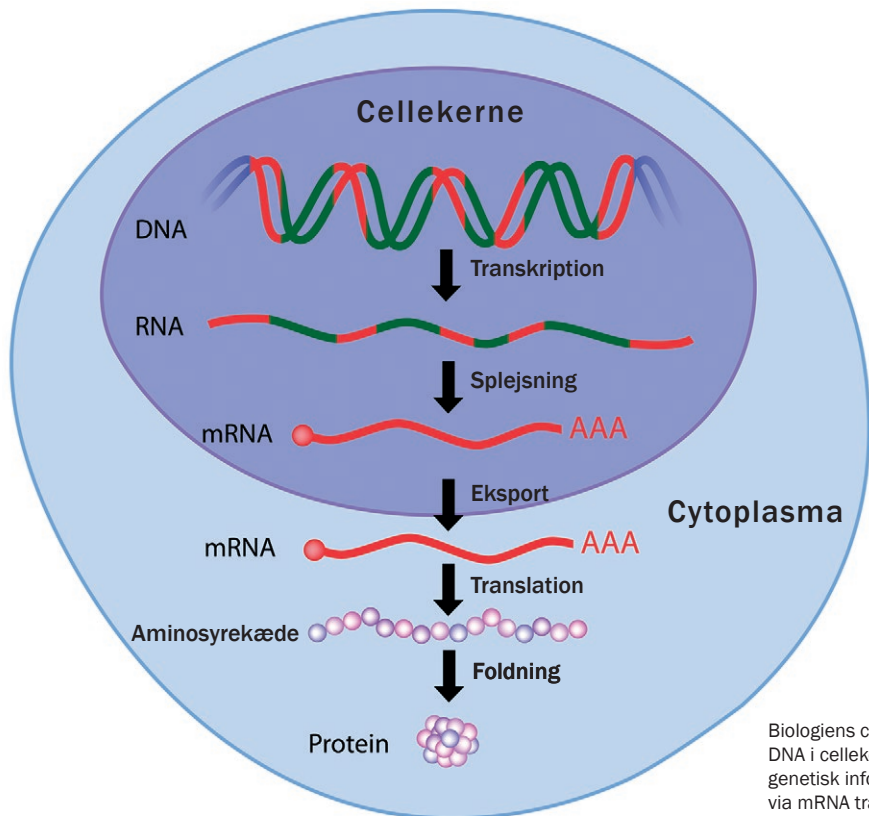
»RNA-teknologi har været mange år undervejs, og vi har ofte haft store forventninger til teknologien for derefter at blive skuffede, fordi vi er stødt på problemer, som har fået os til næsten at opgive. Men i lyset af det, som er sket indenfor de seneste år, tror jeg ikke, at vi kommer til at opgive denne gang. Nu er de rette forhold for teknologien til stede, og jeg forventer, at RNA-teknologi kommer til at være et paradigmeskifte indenfor lægemiddeludvikling i fremtiden,« siger Jørgen Kjems.

### COVID-19 satte mRNA-teknologi på verdenskortet

Når vi taler om RNA-teknologi i en lægemiddelsammenhæng, taler vi faktisk om forskellige teknologier, hvor stykker af RNA kan ændre på vores biologi og derved forhindre eller behandle sygdom.

Den i dag mest kendte teknologi er den, som er baseret på mRNA. Indenfor vaccineudvikling benytter lægemiddelproducenter det faktum, at alle vores celler har nogle fundamentale mekanismer, som oversætter vores arvemasse i form af DNA via mRNA til proteiner. Det vil sige, at når cellerne skal udtrykke et gen, bliver der fra vores DNA dannet en unik mRNA-streng, som fungerer som en slags blueprint til at lave et givent protein.

I vaccinerne mod coronavirus puttede lægemiddelproducenterne Moderna og Pfizer-BioNTech mRNA for coronavirusets spikeprotein ind i vaccinerne. Efter vaccinerne blev skudt ind i vores muskler, tog vores cellulære maskiner fat i mRNA'et, som var det kroppens eget mRNA, og lavede store mængder spikeproteiner, som i sig selv ikke er farlige, fordi resten af coronavirus ikke fulgte med. Kroppens immunforsvar lærte på den måde spikeproteinet



Biologiens centrale dogme: DNA i cellekernen rummer genetisk information, der via mRNA transporteres ud i cellens cytoplasma, hvor informationen oversættes til protein i cellens proteinfabrik, ribosomerne. Processen kaldes samlet for proteinsyntese. Illustration: Shutterstock.

at kende og var derfor klar til at gå til modangreb, når coronavirus senere smittede os.

»mRNA-teknologi fungerer som en slags speeder i kroppens celler og er i stand til at øge produktionen af relevante proteiner. Indenfor vaccineudvikling kan det være virusproteiner, som man kan lære kroppen af genkende. På grund af succeserne med vaccinerne mod coronavirus forsøger vaccineproducenter i dag at lave vacciner mod andre sygdomme, herunder influenza og andre virus- eller bakteriesygdomme, men også kræft,« forklarer Jørgen Kjems.

### Små stykker RNA er potent medicin

En anden af de meget interessante RNA-teknologier er baseret på såkaldt "RNA antisense-teknologi". Den type RNA fungerer meget anderledes end mRNA, idet RNA'et ved antisense hæmmer produktionen af specifikke proteiner, som er fremmede for sygdom, for eksempel kræftsygdom.

Antisenseteknologien fungerer på den måde, at et komplementært

stykke RNA binder til mRNA'et og derved forhindrer produktionen af givne proteiner. På den måde skal forskere "blot" designe stykker af RNA, som matcher RNA'et på de stykker mRNA, som de vil regulere funktionen af. I en lægemiddelsammenhæng er denne egenskab meget interessant, idet mange sygdomme er kendetegnet ved netop overproduktion af givne proteiner.

De første forsøg med antisense-RNA til behandling af sygdomme var dog en stor skuffelse, fordi teknologien virkede rigtig godt på papiret, men i den virkelige verden ikke havde den samme potente effekt, som forskerne havde forventet og håbet på.

Det store gennembrud kom i 1998, hvor forskerne Andrew Fire and Craig Mello opdagede fænomenet "RNA-interferens", der er en ny metode til at hæmme mRNA på, og som de fik Nobelprisen for i 2006. De to forskere viste, at hvis antisense-RNA bliver leveret til cellerne i dobbeltstregenget form, virker de meget mere effektivt. Dog var der det problem, at dobbeltstregenget RNA er giftigt for vores celler.

## En udfordring at få RNA ind i cellerne

Et af de problemer, som forskere skal løse, hvis de vil gøre RNA-medicin til en stor del af fremtidens lægemidler, er, at celler naturligt nedbryder de stoffer, som trænger ind i dem. Årsagen er den, at cellerne sjældent skal bruge stofferne i deres helhed, men bare de individuelle komponenter enkeltvist.

Når et molekyle – eller et stykke RNA – bliver genkendt af et overfladeprotein, danner cellemembranen et såkaldt endosom, der er som en afsnøring af et stykke af cellemembranen. Inde i den cellemembran ligger det molekyle, som nu er indkapslet i endosomet inde i cellens cytoplasma.

Endosomet fusionerer på et tidspunkt med et såkaldt lysosom, der har den ene funktion, at det nedbryder store molekyler til deres bestanddele. Det vil for vores medicinske stykke RNA betyde, at hvis det ikke kommer ud af endosomet, inden endosomet fusionerer med lysosomet, bliver RNA'et nedbrudt, inden det overhovedet kan nå at have en effekt.

Forskere arbejder intenst på at udvikle metoder, som kan hjælpe RNA'et ud af endosomet og ud i cytoplasma-

et, hvor det enten kan booste eller bremse produktionen af givne proteiner. Blandt andet prøver forskere at udvikle metoder til at sprænge endosomerne med et osmotisk tryk, som bliver skabt af kemiske grupper, som opsuger protonerne. Forskere kigger også i retning af virus og bakterier, som for manges vedkommende har udviklet metoder til at trænge ud af endosomerne, så de kan overtage cellerne indefra.

En anden mulig løsning, som Jørgen Kjems og kolleger nu undersøger, er at udnytte kroppens egne molekyler som trojanske heste. Når celler skal kommunikere med hinanden, gør de det med blandt andet med miceller, også kaldet ekstracellulære vesikler, der modsat endosomerne eksporteres ud af cellen for at bevæge sig frit rundt i blodet og andre kropsvæsker. Når en ekstracellulær vesikel møder en celle, sammensmelter de med cellemembranen og tømmer indholdet af vesiklen ind i cytoplasmaet, uden at det kommer i karambolage med lysosomerne. Derudover har ekstracellulære vesikler en evne til at genkende specifikke celletyper, specielt syge celler som er inflammatoriske. Det gør dem interessante i forhold til at målrette lægemidler til for eksempel led med gigt og forkalkninger i årene.

Det problem blev løst i 2003, hvor den tyske professor Thomas Tuschl fandt ud af, at hvis man laver det dobbeltstrengede RNA ultrakort, er det ugiftigt for celler, men bibeholder evnen til at nedregulere produktionen af proteiner. Faktisk skal det dobbeltstrengede RNA ikke være mere end 21 nukleotider langt (der er omkring tre milliarder i menneskets arvmasse), for at det fungerer rigtig godt. Denne type RNA fik navnet "small interfering RNA" eller siRNA.

»Man kan betragte mRNA som speederen i forhold til produktionen af proteiner og siRNA som bremsen. Forskellige sygdomme skal behandles ved enten at skrue op eller ned for proteinproduktionen, og her kan hver teknologi få sin anvendelse afhængigt af sygdommen. Det smarte ved siRNA er også, at det kopierer nogle mekanismer, som findes i cellerne i forvejen, og som cellerne benytter til at regulere produktionen af proteiner. Denne regulering består af såkaldt mikroRNA, der også i udgangspunktet er dobbeltstrengt.

Derfor virker det også bedre, når vi i udviklingen af lægemidler benytter dobbeltstrengt siRNA fremfor enkeltstrengt RNA,« forklarer Jørgen Kjems.

Endelig er der også den mulighed, at man med antisense-teknologi kan modulere effekten af kroppens eget mikroRNA. Idet mikroRNA i sig selv fungerer som en bremse for mRNA, vil en blokering af effekten af mikroRNA være som at trykke yderligere på speederen i forhold til produktionen af proteiner ud fra det givne mRNA.

### Nanopartikler beskytter RNA i kroppen

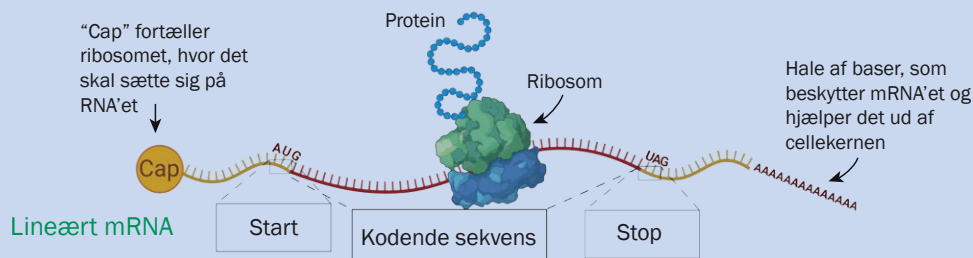
Nuvel, det hele virker måske "helt simpelt" og "ligetil", og sådan havde forskerne det også i årene efter 2003. Optimismen og troen på fremtiden for RNA-medicin var stor, men omkring år 2010 faldt korthuset sammen, og alle optimisterne måtte erkende, at det ikke var så simpelt at lave RNA-medicin, som de havde troet. Problemet var meget enkelt, at når forskerne sendte deres nøje designede

RNA-stykker ind i kroppen, fandt de ud af, at kroppens enzymer i blodet hurtigt nedbrød dem, inden de overhovedet kunne nå at have nogen effekt. Desuden havde det RNA som overlevede meget svært ved at komme ind i cellerne og udføre deres funktion.

»Der var behov for en løsning til at beskytte RNA'et inde i kroppen, og dertil udviklede man lipid-nanopartikler, som er små nanopakker, der kan beskytte RNA'et på dets rejse rundt i kroppen. Lipid-nano-partikler var også årsagen til, at det med pandemien ankomst overhovedet var muligt at lave mRNA-vacciner mod coronavirus. Ellers ville kroppens celler bare ødelægge mRNA'et for spikeproteinet, inden det overhovedet kom ind i cellerne og blev oversat fra RNA til protein,« forklarer Jørgen Kjems.

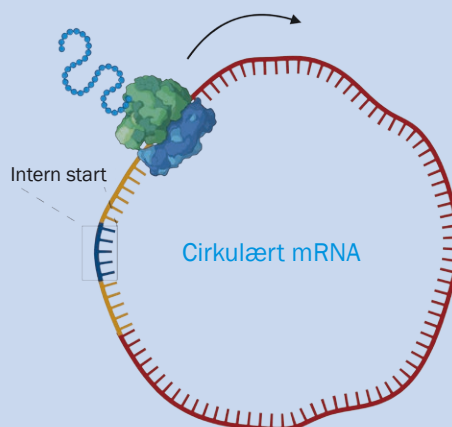
Lipid-nano-partiklerne fungerer på den måde, at de beskytter RNA'et, mens det flyder rundt mellem cellerne. På et tidspunkt smelter de dog sammen med cellemembranen og tømmer indholdet, hvilket vil sige RNA'et, ind i cellerne.

## Cirkulært RNA kan gøre lægemiddeffekten endnu mere potent



I Jørgen Kjems laboratorium undersøger forskerne muligheden for at benytte cirkulært RNA til at skabe en lægemiddeffekt i kroppens celler. Et af problemerne omkring RNA-medicin er nemlig, at lineært RNA er meget sårbart og hurtigt bliver klippet i stykker af cellernes nedbrydningsmekanismer, som tager fat i RNA'et og klipper det op fra enderne. Det problem overkommer cirkulært RNA, og der findes også i naturen cirkulært RNA, som blandt andet binder til mikro-RNA og bremser deres regulering af mRNA.

Det interessante ved cirkulært RNA er, at det kan opretholde lægemiddelfunktionen i meget længere tid. Kigger man som eksempel på de vacciner, som Moderna og Pfizer-BioNTech har udviklet, så overlever mRNA'et i dem kun i få timer i



Figuren viser øverst strukturen af lineært mRNA, og hvordan ribosomet danner et protein ud fra den kodende sekvens. Nederst ses cirkulært mRNA, hvor ribosomet genkender en intern startsekvens og oversætter den kodende del af mRNA'et til proteiner. Et ribosom kan her tage mange runder på samme mRNA. Grafik: Mette Galsgaard Malle

kroppens celler. Derefter producerer cellerne ikke mere af spikeproteinet. Det er nok, for at kroppen kan beskytte sig mod coronavirus. Men i behandling af sygdomme, hvor et defekt protein skal erstattes, kan det være mere interessant at opretholde produktionen i længere tid for at undgå gentagne behandlinger

med kort mellemrum. Her bliver cirkulært RNA rigtig interessant.

Udvikling af vacciner og genetabulering af defekte proteiner med cirkulært RNA er blandt de store forskningsområder, som Jørgen Kjems og hans forskningsgruppe arbejder med.

»Den store udfordring for os forskere er lige nu og her, at vi skal have vores RNA det rigtige sted hen i kroppen. Hvis vi bare sprøjter vores lipid-nanopartikler ind i blodet, ender det meste i blodets "skraldespand", leveren. Alle de RNA-baserede lægemidler, som er på markedet i dag, er da også målrettet sygdomme i leveren, men vi vil gerne kunne målrette RNA-medicin til andre steder i kroppen, for eksempel hjernen,« forklarer Jørgen Kjems.

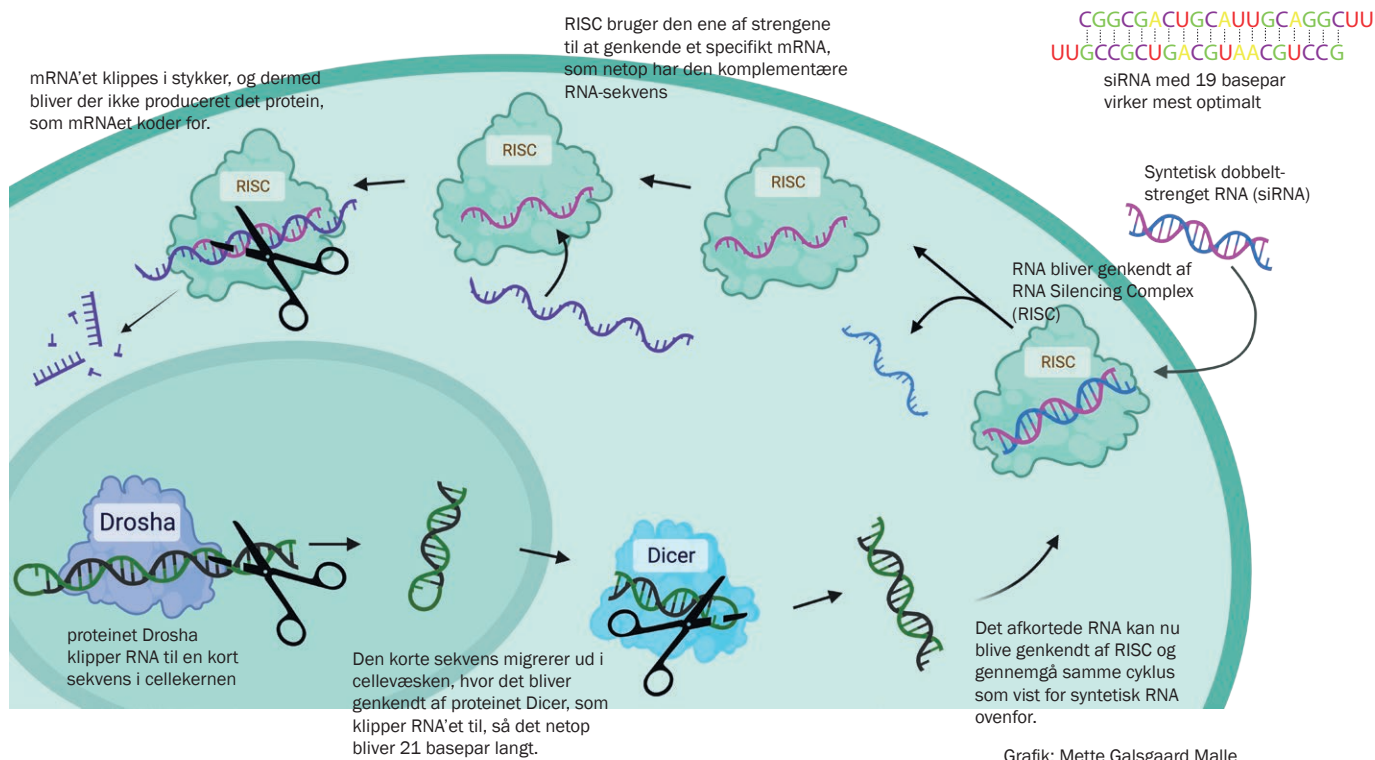
Man kan også forestille sig, at man kan sprøjte RNA-medicinen på overfladen af celler, for eksempel i næsen, munden eller lungerne, og ad den vej lade dem trænge ind der, hvor de skal have en effekt. Denne tilgang kan især være

interessant indenfor behandling af lungesygdomme, hvor man kan forestille sig, at man indånder RNA-medicin, som kan trænge ind i lungecellerne og enten stoppe produktionen af problematiske proteiner med siRNA eller erstatte defekte gener med mRNA. Denne tilgang er som eksempel interessant ved behandling af cystisk fibrose, som netop skyldes et defekt gen.

»Vi arbejder selv på en række projekter med det formål at kunne levere siRNA til behandling af lunger og har fundet ud af, at man ved at indkapsle siRNA i en skal bestående af kulhydratet chitosan fra rejeskaller opnår fordelagtige egenskaber i forhold til at få siRNA ind i lungeceller gennem luftvejene,« siger Jørgen Kjems.

### Svært at målrette RNA til de relevante celler i kroppen

Forskere prøver på forskellige måder at få lipid-nano-partikler indeholdende RNA til at ramme celler rundt om i kroppen, så teknologien kan benyttes til andet end bare behandling af leversygdomme. En af måderne at gøre det på er ved at sætte ligander på overfladen af lipid-nano-partikler, så de binder til proteiner på overfladen af bestemte celler. Alle kroppens celler er udstyret med unikke proteiner på overfladen, og derved er det muligt at designe ligander, som binder lipid-nano-partikler til for eksempel immunforsvarets celler eller sågar kræftceller og leverer sin last af RNA der. Forskere forsøger også at lave RNA-lægemidler, der via ligander kan trænge over blod-hjer-



Figuren viser princippet i at bruge syntetisk dobbeltstrenget RNA (siRNA) til at forhindre produktionen af specifikke proteiner i kroppen (den øverst del af figuren). Metoden er effektiv, da ét dobbeltstrenget RNA kan slukke for produktionen af mange proteiner. Det smarte er, at metoden efterligner en naturlig mekanisme (vist nederst på figuren), der hæmmer produktionen af proteiner. RISC er en forkortelse for (RNA induced silencing complex).

ne-barrieren og derved være målrettet celler i hjernen.

»Blandt andet er Parkinsons sygdom kendetegnet ved en overproduktion af givne proteiner. Her er det tanken, at man med siRNA kan sætte en bremse på produktionen af disse proteiner og derved bremse udviklingen af sygdommen. Det kræver dog, at vi kan få vores siRNA frem til de rette celler i hjernen,« siger Jørgen Kjems.

En helt tredje mulighed, som forskere har haft succes med, er at undgå lipid-nano-partiklerne og i stedet sætte ligander direkte på siRNA'et, hvilket dog kræver, at siRNA'et er beskyttet mod nedbrydning med kemiske modifikationer.

### Findes allerede RNA-lægemidler mod flere sygdomme

Kigger vi på de områder, hvor forskere og lægemiddelproducenter lige nu er længst fremme i forhold til at udnytte RNA-medicin til at kurere sygdomme, springer leversygdomme som sagt i øjnene.

I 2018 kom det første lægemiddel på markedet til behandling af sygdommen transthyretin amyloidose, som er en sygdom, hvor kroppens organer, herunder leveren, aflejrer en masse proteiner i organet. Det får langsomt leveren til at bryde sammen. Sygdommen er arvelig, men kan med et lægemiddel baseret på siRNA (partisiran) kureres. Partisiran går meget simpelt ind og sætter en stopper for produktionen af de problematiske proteiner, og efter 10 til 14 dage er mængden i leveren og andre organer reduceret med 80 %.

På samme måde har medicinalfirmaer også udviklet og fået godkendt siRNA-baseret medicin til behandling af leversygdommene akut hepatisk porfyri, metabolisk acidose og primær hyperkolesterolemie.

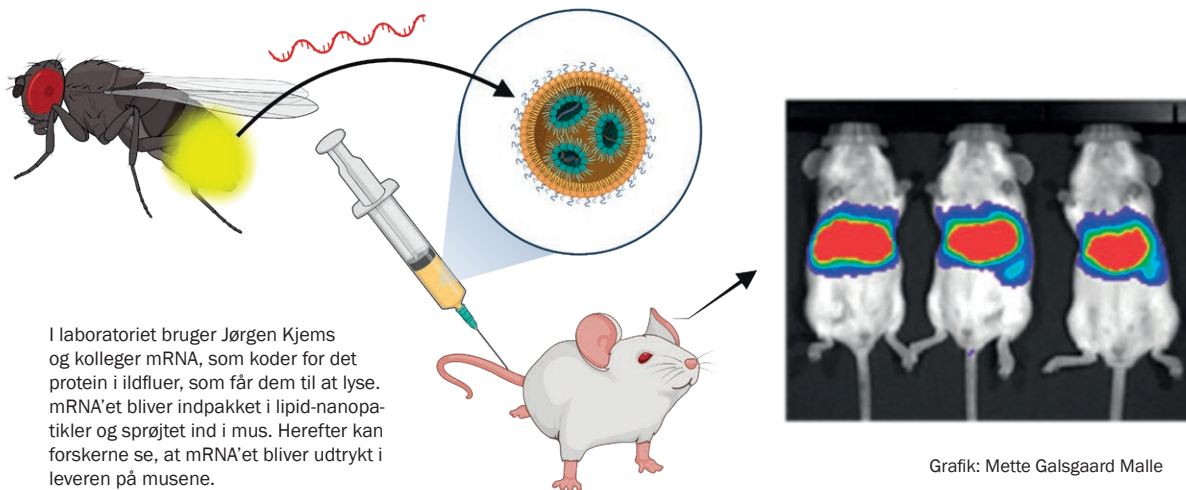
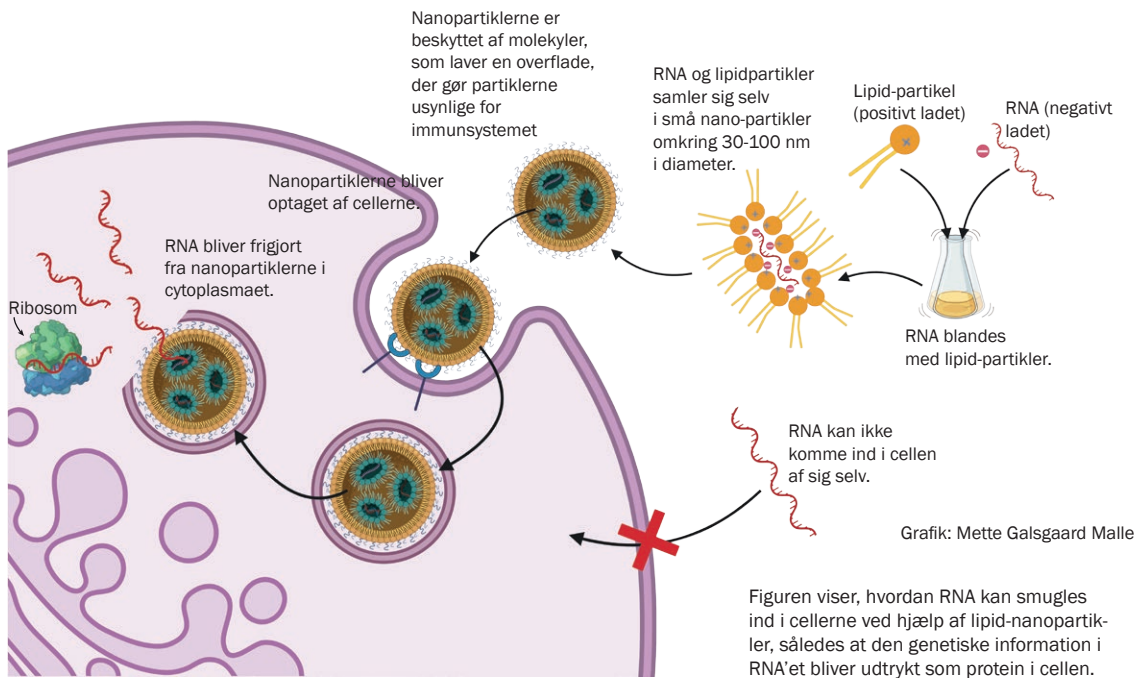
Endelig er der også lægemidlet Spinraza, der er kendt som værende et af verdens dyreste lægemidler med en pris på 750.000 kr. per behandling. Spinraza, som ganske

vist ikke er siRNA-teknologi, men baseret på det oprindelige antisense-princip, er designet til behandling af muskelsvindsygdommen spinal muskelatrofi. Muskelatrofi skyldes, at et mRNA ikke bliver modnet korrekt, og derved bliver der ikke produceret et essentielt protein for normal muskeludvikling. Problemet er, at en mutation i genet medfører at proteinsyntesen stopper midt i produktionsforløbet. Spinraza virker ved at om dirigere modningen af mRNA'et, så proteinproduktionen delvis genetableres.

»Man får ganske vist ikke et perfekt protein ud af det, men man får et protein, som kan fungere,« fortæller Jørgen Kjems.

### Vil lave vacciner mod kræft

Skeler vi til mRNA-teknologien, er forskere interesseret i at bruge teknologien til blandt andet vaccineudvikling. Her er det oplagt at bruge vaccinen mod andre virus-sygdomme som influenza, men der er også stor interesse indenfor udvikling af mRNA-vacciner mod



blandt andet HPV-virus, der kan være kræftfremkaldende. Faktisk forestiller forskere sig, at det er muligt at bruge mRNA-vacciner til at beskytte direkte mod kræften i sig selv. Her er det tanken, at alle kræftceller udtrykker unikke proteiner på overfladen. Disse proteiner findes ikke på overfladen af andre celler i kroppen, og kan man få immunforsvaret til at genkende og gå til angreb på celler med disse proteiner på overfladen, vil man være beskyttet mod kræft.

»Ligesom man med vaccinerne til beskyttelse mod COVID-19 lærer immunforsvaret at gå til angreb på

spikeproteiner, kan man med vacciner med mRNA formentlig lære immunforsvaret at gå til angreb på kræftceller. Der forskes rigtig meget i den type vacciner, og det bliver interessant at se, hvad der kommer ud af det,« siger Jørgen Kjems.

mRNA-teknologien kan også benyttes indenfor behandling af sygdomme, hvor kroppen ikke producerer givne proteiner. Her kan man med mRNA-teknologi introducere de manglende cellulære blueprints, så cellerne selv kan producere de proteiner, som de mangler.

»Her er den store interesse fortsat

indenfor leversygdomme, men også indenfor metaboliske sygdomme som diabetes og behandling af svær overvægt. RNA-teknologi rummer et enormt potentiale, idet der praktisk talt ikke findes den sygdom, hvor problemet ikke drejer sig om for høj eller lav produktion af forskellige proteiner. En anden af de helt store fordele ved RNA-teknologi er også, at vi kan ramme mål inde i cellerne. De fleste lægemidler er i dag målrettet proteiner på overfladen af cellerne, men med RNA-teknologi kan vi i princippet ramme alle proteiner, og det giver helt nye behandlingsmuligheder,« siger Jørgen Kjems. ■

# BLOMSTER- PLANTERNE FØRTE BIODIVERSITETEN TIL USETE HØJDER

Blomstrende Hulkravet Kodriver på Katbjerg Odde. Foto: Jens Christian Schou

## Forfatterne



Kaj Sand-Jensen er professor i ferskvandsøkologi ved Biologisk Institut, Københavns Universitet. [ksandjensen@bio.ku.dk](mailto:ksandjensen@bio.ku.dk)



Jens Christian Schou er botaniker, forfatter og pensioneret lærer. [jcschou@gmail.com](mailto:jcschou@gmail.com)

**Blomsterplanternes udvikling af utallige landlevende arter siden Kridttiden skabte en makroøkologisk revolution blandt tilknyttede insekter, edderkopper, hvirveldyr og svampe, som bragte biodiversiteten til helt nye højder. Hvilke egenskaber hos blomsterplanterne har drevet denne udvikling, som Darwin kaldte et mysterium?**

**P**lanter har en kort tidshistorie på landjorden på blot 460-500 millioner år sammenlignet med de mindst 2 milliarder år, hvor der har levet alger i ferskvand og havet. De første landplanter var mosser, der udvikledes fra ferskvandsgrønalger af typen koblingsalger. Mosvegetationen var blot få cm høj og kun tæt på fugtige steder, da mosser mangler egentlige rødder til at optage vand fra jorden og ledningsstrenger til at føre vandet op i planten.

Den næste æra tilhørte karspore-

planterne. Først ulvefødder, for cirka 430 millioner år siden, udstyret med et simpelt ledningsvæv til vandtransport, spalteåbninger i bladene og flercellede korte rødder. Senere i Kultiden (359-299 millioner år) voksede træagtige padderokker, bregner og koglepalmesammen med de nøgenfrøede nåletræer i skove, der dominerede landjorden vegetation helt frem til Kridttidens begyndelse (145 millioner år), hvorefter blomsterplanter overtager scenen. Og det gør de meget hurtigt og i stort artsantal ledsaget af et endnu større mylder af nye tilknyt-

tede arter blandt specialiserede insekter, edderkopper, hvirveldyr og svampe. Darwin kaldte denne udvikling et "afskyeligt mysterium" (abominable mystery).

Siden Darwin er vi blevet meget klogere på blomsterplanternes nye bygningstræk og livsytringer samt deres slægtskab og evolution. I denne artikel forklarer vi, hvordan blomsterplanternes store genetiske fleksibilitet, højere stofproduktion og forskelligartede blomster over tid skabte grundlaget for en samlet global artsdiversitet på flere millioner arter.

## Da blomsterplanterne indtog scenen

Blomsterplanterne blev for alvor talrige midt i Kridttiden for 100 millioner år siden. I de tidlige faser levede de især i ferskvand og på forstyrrede flod- og søbredder. Med tiden bredte de sig i bunden af datidens nåleskove. Først senere udviklede de egentlige træer, der udkonkurrerede nåletræerne i varme klimaer.

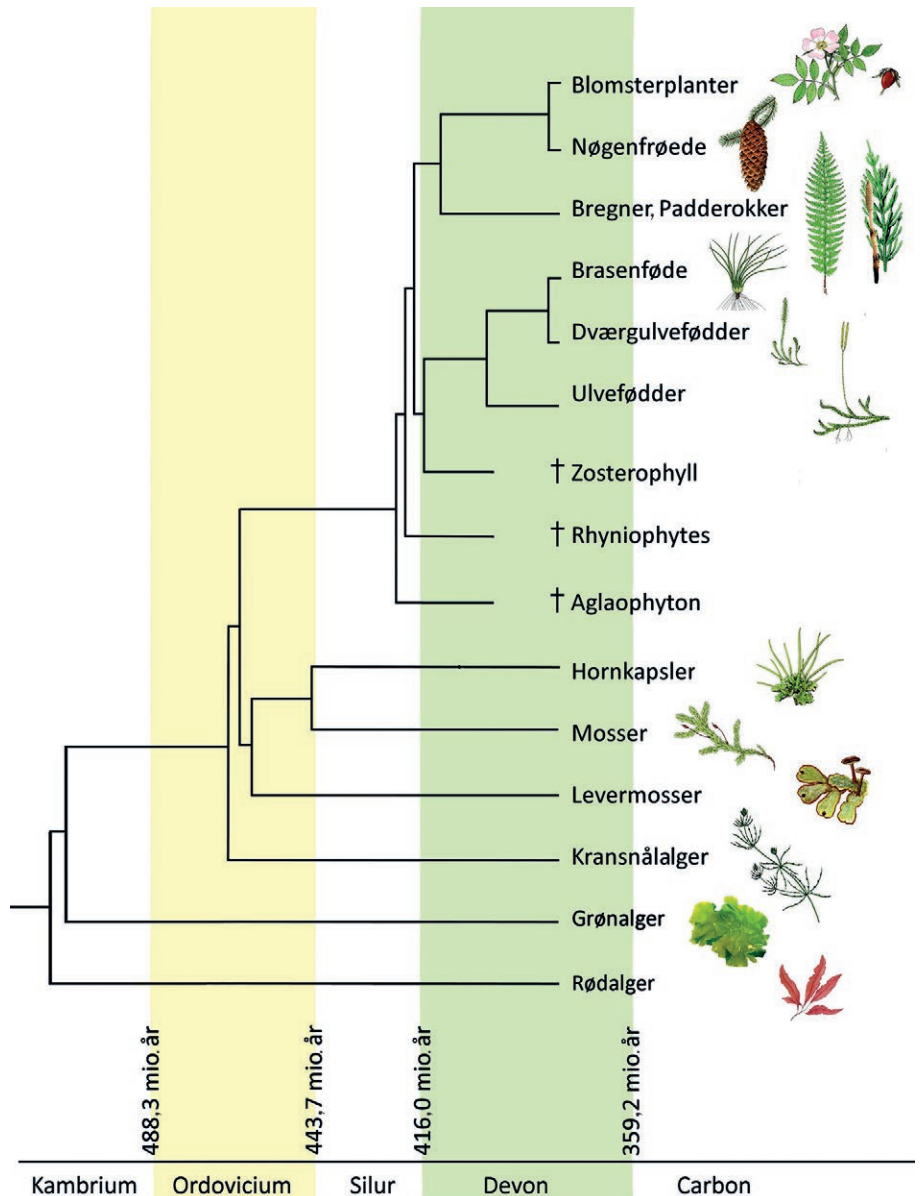
Midt i Kridttiden var blomsterplanternes bidrag til artsantallet i lokale floraer beskedne 5-20 %. Men ved slutningen af Kridttiden for 66 millioner år siden omfattede de mere end 80 % af floraens arter. Ved sammenligning af basesekvensen i DNA-strengene og vurdering af den hastighed, bestemte baser kan mutere over tid, har forskerne udpeget nogle få tidlige blomsterplanter, heriblandt åkander, som senere følges af de to meget artsrige enkimbladede planter med blandt andet græsser og orkidéer og tokimbladede med hele buketter af nelliker, kurvblomster, ærteblomster og roser. Udspaltningen i mange familier og slægter skete 100-50 millioner før nu, men endnu flere slægter og arter fulgte, så antallet af beskrevne blomsterplanter nu tæller over 300.000 arter.

I dag er artstallet af forløberne blandt ulvefødder meget lavt, og de nøgenfrøede, hovedsageligt nåletræer omfatter blot 1100 arter. Antallet af navngivne mosser (21.925) og bregner plus padderokker (10.560) er heller ikke prangende. De er alle trængte af konkurrence om pladsen med de talrige blomsterplanter.

Måske undervurderer vi artsrigdommen blandt uddøde arter i de ovennævnte plantegrupper i fortiden. Fossilerne repræsenterer trods alt et begrænset udsnit af de tilstedeværende arter. Men flere vurderer, at artsrigdommen blandt nutidens mosser og bregner er mindst lige så høj som førhen. Er det korrekt, er landplanternes artsrigdom i dag mindst ti gange højere end i fortiden, da mosser, karsporeplanter og nøgenfrøede var enerådende.

## Tilpasninger til bedre udnyttelse af CO<sub>2</sub> og vand

Der ligger sandsynligvis både ydre faktorer og biologiske egenskaber bag blomsterplanternes overvældende artstal. Siden Kridttiden er gennemsnits-

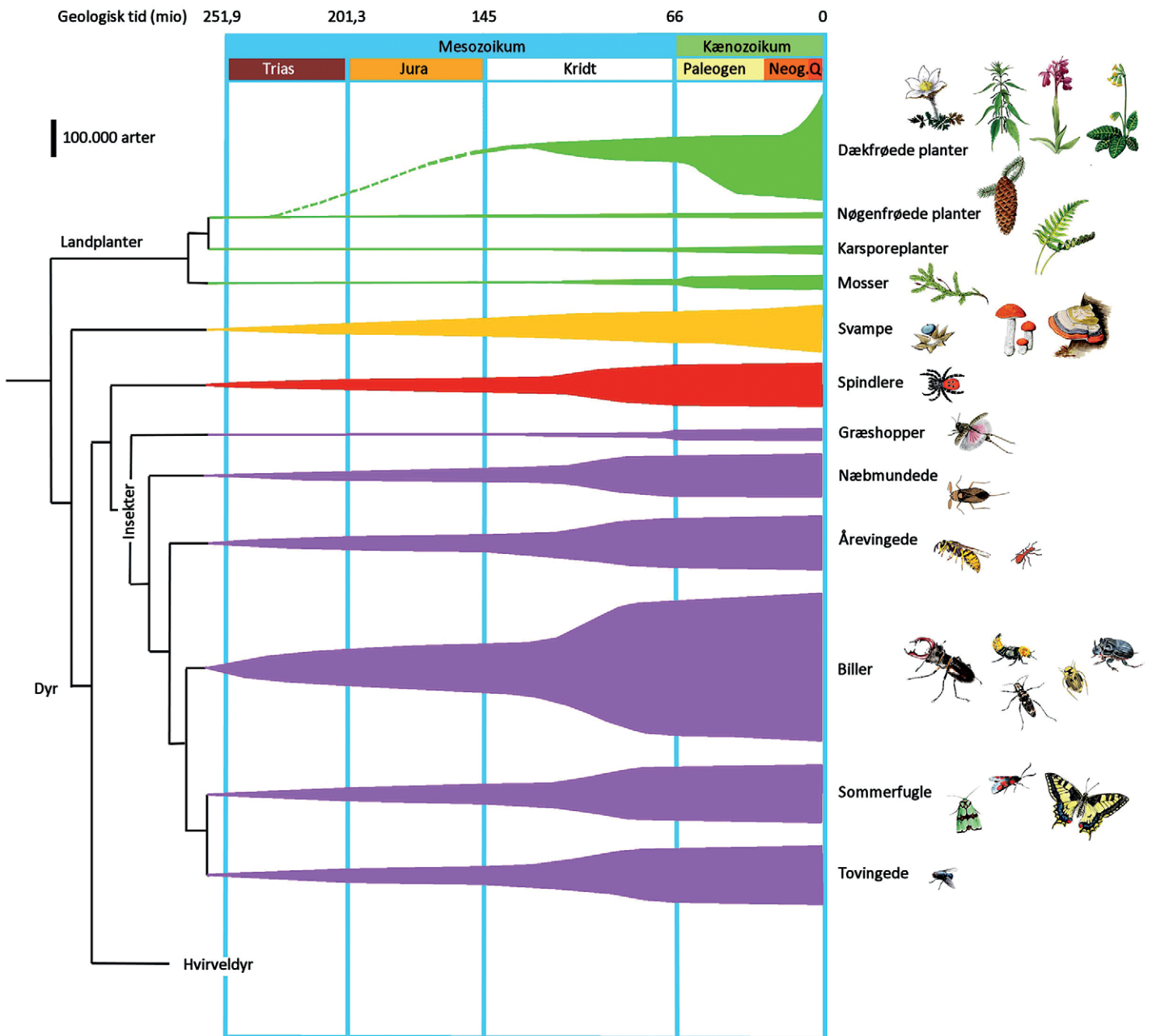


Figur 1. Udviklingen af landplanter fra ferskvandsgrønalger i gruppen koblingsalger. Landplanterne omfatter mosser, karsporeplanter (ulvefødder, padderokker og bregner) efterfulgt af nøgenfrøede (især nåletræer) og blomsterplanter (især enkimbladede og tokimbladede planter). Grafik JCS.

temperaturen for vandsøjlen i verdenshavene faldet fra omkring 20 til få grader, dog med markante varmeperioder undervejs. Superkontinentet Pangea blev opdelt i to store klumper for 200 millioner år siden. I løbet af Kridttiden vandrede Sydamerika og Afrika mere fra hinanden, og et bredere sydligt Atlanterhav blev dannet. I sen Kridttid blev Australien og Antarktis adskilt og Grønland frigjorde sig fra Nordamerika. Flere kontinenter og nye bjergkæder adskilte områder med forskelligt klima og skabte muligheder for udvikling af nye arter

på kontinenterne og i isolerede bestande i dale og på bjergskråninger. Blomsterplanterne har af forskellige grunde været meget bedre end karsporeplanter og nåletræer til at tilpasse sig og udvikle nye arter under de vekslende varme og kølige samt fugtige og tørre forhold.

CO<sub>2</sub>-indholdet i atmosfæren har varieret betydeligt over perioden, og det faldt fra omkring 800 ppm (dele per million) i Kridttiden til blot 280 ppm umiddelbart før industrialiseringen, hvilket stillede krav til tilpasningsevnen. Fald i atmosfæ-



Figur 2. Udviklingen af de mange arter blandt planter og insekter på landjorden i løbet af de seneste 250 millioner år. Karsporeplanters og nåletræers artsudvikling er usikker tilbage i tiden. Tykkelsen af de farvede områder er et udtryk for antallet af arter. Omtegnet efter Benton et al. (2022). Grafik JCS.

rens CO<sub>2</sub>-indhold udløste ændringer i blad anatomi og biokemi i adskillige plantefamilier. Det kommer til udtryk i en ny type fotosyntese, man kalder C-4- fotosyntese, der findes hos varmeelskende planter (for eksempel majs) i tørre miljøer for at opretholde fotosyntesen ved lav tilgængelighed af CO<sub>2</sub> og vand. Planter med C-4-fotosyntese koncentrerer CO<sub>2</sub> inde i bladet omkring det enzym (RUBISCO), der katalyserer indbygning af CO<sub>2</sub> i nye kulhydrater, så processen kan forløbe meget effektivt, når spalteåbninger er åbne. Til gengæld kan planten ef-

terfølgende lukke spalteåbningerne i længere tid og dermed mindske den samlede fordampning. C-4-fotosyntesen fungerer dermed som tilpasning til både højere temperaturer og tørre forhold.

Blomsterplanterne har udviklet andre tilpasninger til at udnytte CO<sub>2</sub> og vand bedre. De to vigtigste var større effektivitet af ledningsstregene i vandtransporten og flere spalteåbninger med bedre kontrol over åbning og lukning, så optagelsen af CO<sub>2</sub> til fotosyntesen i forhold til vandtabet ved fordampning op-

timeres. Mens karsporeplanter og nøgenfrøede planter har ledningsstrenge med tværvægge, udvikler blomsterplanterne egentlige kar, uden tværvægge og sædvanligvis større diameter, der gør dem i stand til at transportere mere vand. Blomsterplanterne har også større tæthed af ledningsstrenge i bladene til at forsyne cellerne. Desuden kan bladcellerne hos blomsterplanterne være mindre end hos ulvefødder, bregner og nåletræer, hvorved cellernes overflade i forhold til volumen bliver større og fremmer CO<sub>2</sub>-optagelsen.



## Fintunede samspil mellem blomsterplanter og dyr

Blomsterplanter indeholder et kæmpe arsenal af attraktive og frastødende egenskaber for dyrene. Darwin var opmærksom på den gensidige fintunede afhængighed, der kan findes mellem bestemte blomsterarter og insektbestøvere og dens betydning for den gensidige artsdannelse.

Darwins orkidé (*Angraecum sesquipedale*) er en epifyt i Madagaskars regnskov med en 25-43 cm lang blomsterpore. I 1862 forudså Darwin, at der eksisterede et insekt med en tilsvarende lang skræddersyet sugesnabel.

Insekter med kort sugesnabel kan godt frigive pollenmasserne og få dem på sig i et forgæves forsøg på at få fat i nektaren, men kun individer med lang snabel vedbliver med at besøge og dermed bestøve blomsten lokket af nektarbelønningen. Darwins forudsigelse blev et fejret eksempel på evolutionsteorien og mulig co-evolution mellem



Fotocollage JCS.

En langtunget aftensværmer (*Xanthopan morgani praedicta*) nærmer sig Darwins orkidé (*Angraecum sesquipedale*) med de lange, slanke blomstersporer for svirrende over blomsten at suge nektaren i bunden af sporen og få pollenmasser overført til basis af snablen, når den trækkes op igen.

blomsterart og insektart. Det blev bekræftet i 1903, længe efter Darwins død, da man fangede en aftensværmer med netop så lang en sugesnabel, men først i 1990'erne så man den bestøve blomsten. Siden har man diskute-

ret, om blomsten og insektet gensidigt har tilpasset sig til hinanden, eller det alene er blomsten, som ved naturlig udvælgelse er blevet tilpasset til den langtungede aftensværmer, som førhen har bestøvet andre dybe blomster.

Alt i alt betyder bedre vandforsyning, mindre bladceller og flere spalteåbninger, at blomsterplanter kan opnå højere fotosyntese og tilvækst end ulvefødder, bregner og nåletræer. Den højere fotosyntese kan levere et overskud af organisk stof til mange formål. For eksempel til at danne et dybere rodnet, som kan skaffe mere vand under tørke. Eller til at etablere blomster med særlige strukturer og lokkende dufte, som kan fremme bestøvning og frøproduktion.

### Udvikling af blomsten

Da blomsterplanterne udviklede blomster fik de dermed også en ny forplantningsbiologi. Det fremmede både dannelsen af nye arter og deres overlevelse. De tvekønnede blomster, der lokker især insekter med farver og dufte samt belønner med sukker i nektar og protein i pollen, sikrer blomsternes krydsbestøvning og genetiske variation.

Blomstens pollen og æg er beskyttede i adskilte stærkt omdannede støvblade (støvdragere) og frugtblade (frøanlæg). Pollen kan spredes effektivt til fremmede blomsters frøanlæg, og befrugtningen sker uden medvirken af vand. Frøet spredes og kan direkte vokse frem til en ny plante.

Ulvefødder og bregner spreder sporer, der spirer på fugtige steder til en lille grøn kim, hvor befrugtningen sker, hvorefter en ny sporedannende plante kan vokse frem. Den selvstændige kims krav på høj fugtighed udgør derfor en snæver flaskehals for disse karsporeplanters spredning og udvikling, som blomsterplanter helt undgår.

Senere ændringer i blomstens opbygning fremmede artsudviklingen og spredningen. Blomsterne udviklede sig fra en åben, radiær-

symmetrisk blomst mod en mere lukket en-symmetrisk blomst, som hos ærteblomster, læbeblomster og orkidéer, der bestøves af insekter og endog specialiserede arter. Det sikrer mere præcis krydsbestøvning, når insekterne besøger netop denne ene slags blomst. På vindombruste åbne sletter har vindbestøvning omvendt været en succes hos de mange græsarter.

Kæmpestore forskelle i størrelse og opbygning af frø og frugter er også udviklet som tilpasning til forskellige spredningsveje ved hjælp af enten insekter, fugle, pattedyr, vind eller vand. Hundre tusinder mikrogram-lette frø spredes med vinden fra enhver blomsterkapsel hos orkidéer, stæreflokket kaster sig over kirsebær, mens ræven får frø med krogbørster i skindpelsen og spredt dem, når den lusker gennem skoven.

## Fordobling og slankning af genomet

Hybrider bringer genetisk information fra forskellige forældrearter sammen, og hybriden er sædvanligvis steril, men kan formere sig vegetativt. Hybrider kan være yderst livskraftige og have årelang overlevelse. I nogle tilfælde fordobles antallet af kromosomer i hybriden, og i disse tilfælde kan den nye plante gennemføre en reduktionsdeling (meiose), danne pollen og æg, blive krydsbestøvet og producere frø med nye egenskaber.

På trods af gentagne kromosomfordoblinger har blomsterplanterne opretholdt et lille genom ved at fjerne "unødvendige" kromosomer og DNA-kopier. Et genom rummer egentlige gener, der koder for proteiner, andet DNA, som koder for RNA, der tænder og slukker for generne, og endelig DNA, der påvirker tænd-sluk-mekanismen og dermed fænotypen. Vi ved ikke, hvor meget af genomets DNA, som er overflødigt for plantens fremtoning. Men et lille genom kræver mindre energi og fosfor

	Millioner basepar	Fotosyntese værdi: gram CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /time
Bladmøsser	750	0,25
Bregner	11.000	0,65
Nøgenfrøede	21.610	0,95
Blomsterplanter	1.660	1,5

Genomets størrelse og fotosyntesen begge som medianværdien hos bladmøsser, bregner, nøgenfrøede (hovedsageligt nåletræer) og blomsterplanter. Genomstørrelsen angiver millioner basepar af nukleotider i DNA-strengen. Efter Pallicer et al. (2018). Grafik JCS.

og kvælstof til DNA og det omfattende apparat af ribosomal-RNA, rRNA, messenger-RNA, mRNA, energimolekylet ATP og proteiner, som fordobler DNA'et ved celledeling. Da fosfor og nitrogen ofte begrænser arters udbredelse og vækst, klarer planter med fordoblede kromosomtal og et stort genom sig bedst på næringsrige lokaliteter, mens forældrearter bedre tåler næringsfattige betingelser.

## Giftige indholdsstoffer

Giftige stoffer findes i utallige planter, for eksempel opium i valmuer, og det for pattedyr mv. dødeligt giftige cicutoxin i Gifftyde og coniin i Skarntyde. Stofferne tåles af få insekter, men frastøder de fleste, som ellers vil æde planterne. Planterne beskytter især værdifulde unge blade med en lang levetid foran sig samt frø og frugter, som skal føre arten videre. Det skaber et våbenkapløb mellem plantens udvikling af nye gifte og dyrenes evne til at tåle eller neutralisere giftstofferne; det antages at føre til en gensidig specialisering (kaldet co-evolution) og tilpasning mellem planter og dyr, som fremmer dannelsen af nye arter. Selv nyder vi smagen af kanel, kommen, peber, sennep og chili i passende doser, men stofferne er altså udviklet som forsvar mod insekter eller andre dyr, som vil æde planterne.



Fotocollage: JCS.

Både den voksne bladbillen og larven hos (*Prasocuris phellandrii*) æder Gifftyde, der er Danmarks giftigste plante for mennesker og mange andre dyr.

### Ekspllosion af dyr og svampe

I de seneste 100 millioner år er der sket en eksplosion af landlevende dyr og svampe knyttet til blomsterplanterne. I runde tal omfatter navngivne landlevende arter op mod to millioner. Landjordens artsdiversitet er dermed cirka 5 gange større end den samlede artsdiversitet i ferskvand og havet. Langt den største hovedgruppe på land er insekterne med godt 1 million navngivne arter. Her er artstallet i de største hovedgrupper, biller (387.000), sommerfugle (158.000), fluer og myg (156.000), bier og myrer (117.000) samt tæger (104.000). Edderkopper plus mider og svampe rummer begge omkring 100.000 arter.

Den høje artsdiversitet af insekter

og svampe er ikke overraskende, da adskillige specialiserede arter blandt bladlus, dværgmøl, snyltemøl og rust- og brandsvampe er knyttet til hver eneste plantearter. Andre insekter flyver fra blomst til blomst og udnytter nektar og pollen, eller sidder stille, suger plantesaft og æder bladene, veddet eller rødderne. Atter andre lever af døde blade i jorden, som rovdyr eller som specialiserede parasitter.

Der er sikkert en yderligere grund til, at så mange insektarter er knyttet til blomsterplanterne. Insekterne har – i lighed med alle andre planteædere – brug for meget protein, nitrogen og fosfor, og derfor foretrækker de at æde de mest næringsrige plantedele. Blomsterplanter er rigere på

protein, nitrogen og fosfor, vokser hurtigere og konsumeres også i højere grad af dyrene end ulvefædder, bregner og nøgenfrøede planter.

Blomsterplanterne har nemlig udviklet særlige evner til at kunne indbygge næringsstoffer i vævet, sædvanligvis i højere grad end karsporeplanter og nøgenfrøede. Fosfor dannes ikke biologisk, men mange blomsterplanter udskiller citronsyre og oxalsyre fra rødderne og opløser jordens kalkfosfater, så fosfat kan optages. Men endnu vigtigere lever blomsterplanter i et mutualistisk symbioseforhold (mykorrhiza) med svampe, hvis netværk af tynde hyfer afsøger store jordvolumener for fosfor, som de opløser med enzymer og transporterer til værtsplanten, der kvitterer med

organisk stof fra sin høje fotosyntese til svampene. Orkidéerne har helt reduceret rodnettet og overladt det til svampepartnerne at levere vand og opløste næringssalte.

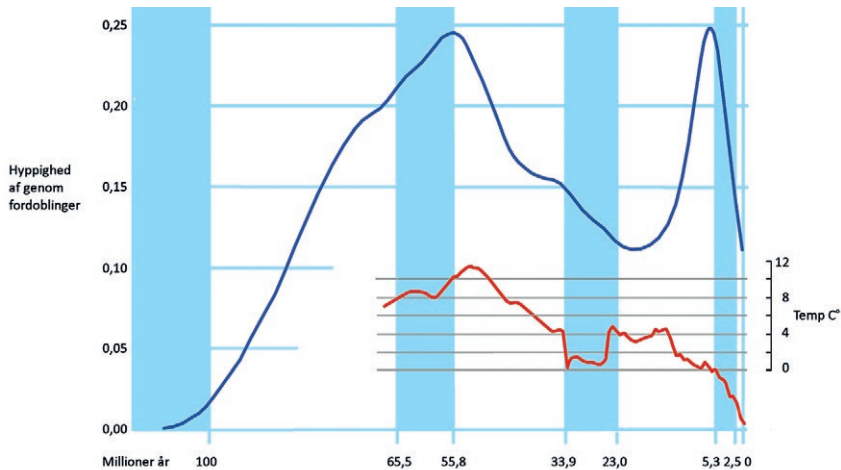
Visse blomsterplanter har den særlige egenskab at kunne fiksere luftformigt nitrogen (N<sub>2</sub>) som biologisk anvendeligt ammonium i rodskolde med bakterier. Egenskaben er udbredt hos 3000 arter i ærteblomstfamilien. De kan derfor kolonisere jomfruelig jord uden plantetilgængeligt nitrat og ammonium foran smeltende gletsjere, i floddeltaers sand og i andre nitrogenfattige jorde. Når ærteplanterne dør og nedbrydes, beriger de jorden med nitrogen og baner vejen for andre blomsterplanter.

### Fordelen ved et lille "fleksibelt" genom

En stor variation i generne og deres regulering ligger bag de mange arter og livsformer blandt blomsterplanterne. Man forsker i, om denne variation kan skyldes særlige egenskaber ved genomet. På den ene side har der været mange kromosomfordoblinger efter hybriddannelse mellem to arter, som fordobler genoms størrelse og kan tilføre nye egenskaber og skabe nye arter. Spontan kromosomfordobling af genomet uden fremmede arters indblanding er også hyppig og kan eksempelvis fjerne effekten af skadelige mutationer på plantens udvikling og mindske risikoen for, at det normale gen tabes over generationer, når det er til stede i dobbelt antal. Efter kromosomfordobling slankes genomet sædvanligvis over årmillionerne til dets oprindelige størrelse.

Kromosomfordoblinger kan forbedre tilpasninger i perioder med voldsomme klimaændringer mod varmere eller koldere og tørrere forhold, og denne positive effekt er tydelig hos græsser, kurvblomster og ærteblomster. Kromosomfordoblinger sker også med øget hyppighed blandt blomsterplanterne på udfordrende kolde levesteder i bjerge og arktiske egne.

Denne fleksibilitet – at kunne fordoble DNA'et og efterfølgende fjerne det



Figur 3. Kromosomfordoblinger per tidsenhed (som index) hos planteordenen Malphigiales steg i tidlige perioder med pludselig global opvarmning og sene perioder med global afkøling. Temperaturen er angivet for havet og bygger på fordelingen af ilt-isotoper i små skalklædte dyr (foraminiferer). Malphigiales omfatter blandt andet familierne: Perikon, Pil, Viol og Vortemælk. Omtegnet efter Cai et al. (2019). Grafik JCS.

overflødig – er veludviklet hos blomsterplanterne. I hvert fald har bregner og nåletræer i gennemsnit 7 og 13 gange større genomer end blomsterplanterne, og det koster mere at producere de større genomer. Slankning af genomet mindsker forbruget af næringsstoffer, energi og tidsforbruget til genoms fordobling ved celledelinger. Halvdelen eller mere af cellens fosfor og meget nitrogen kan være bundet i DNA og ribosomernes RNA, hvilket især er kritisk for planter på næringsfattige jorde.

Meget af genomet er "dødvægt" (junk-DNA), som ikke er gener, der danner proteiner eller er virksom som struktur- eller genregulerende RNA i cellerne. "Dødvægten" er særlig tung i store genomer, som mange derfor mener er en blindgyde i evolutionen, som arten kun kan klemme sig ud af ved at slanke genomet.

### Biodiversitetens udvikling

Mange år efter Darwin belyser nye DNA-data både blomsterplanternes evolution, slægtskab og indbygning af nye gener og deres funktion. Vi er kommet tættere på at kunne forklare de mange arter af blomsterplanter og deres tætte relationer til insekter, svampe og bakterier, som for Darwin var et mysterium.

Blomsterplanterne er som det sidste skud i landplanternes evolution i

stand til at vokse mange flere steder, dække jordoverfladen bedre med en vegetation i flere lag og udvikle et tættere og dybere rodnet end karsporeplanter og nøgenfrøede. Blomsterplanterne er dermed bedre til at udnytte lys, vand og næringsstoffer og producere mere organisk stof. Deres stofproduktion er desuden gennemgående af bedre næringskvalitet, og det er grundlaget for mange flere og mere specialiserede tilknyttede arter.

Det er sikkert også sådan, at årmillionerne i sig selv har arbejdet for øget udspecialisering af stadig flere arter, der rækker videre end de muligheder, som den øgede planteproduktion alene skabte. Det har sandsynligvis været tilfældet i hele livets knapt 4 milliarder års udvikling. Der har dog været bump på vejen ved voldsomme geologiske hændelser, der reducerede artstallene i nogle millioner år, hvorefter tallene igen steg til nye højder.

Denne fremadskridende stigning af biodiversiteten ændrede sig, da det moderne menneske for 60.000 år siden forlod Afrika og befolkede alle egne på jorden. Og det vendte til en begyndende reduktion af biodiversiteten, da menneskets befolkningstal steg til mange milliarder og lagde beslag på store arealer til produktion af mad til at mætte de mange munde. ■

**Supplerende litteratur**  
Benton M J, Wilf P & Saquet H 2022. The angiosperm terrestrial revolution and the origin of modern biodiversity. *New Phytologist* 233: 2017-2035.

Cai L et al. 2019. Widespread ancient whole-genome duplications in Malphigiales coincide with Eocene global climatic upheaval. *New Phytologist* 221:565-576.

Darwin CR. 1862. The various contrivances by which British and foreign orchids are fertilised by insects and on the good effects of intercrossing. London: John Murray.

Onstein R E 2020. Darwin's "abominable mystery": trait flexibility as the innovation leading to high angiosperm diversity. *New Phytologist* 228: 1741-1747.

Pellicer J. et al. 2018. Genome size diversity and its impact on the evolution of land plants. *Genes* 9: 88.

Sand-Jensen K. et al. 2017. Positive interactions between moss cushions and vascular plant cover. *Botany* 93: 141-150.

Simonin K A & Reddy A B 2018. Genome downsizing, physiological novelty, and the global dominance of flowering plants. *Plos Biology* 16: e20033706.

Wang X et al. 2021. Genome downsizing after polyploidy: mechanisms, rates and selection pressure. *The Plant Journal* 107: 1003-1015.

FAKTA

Dave Goulson:  
*Den tavse klode - Sådan forhindrer vi insekternes undergang.* Oversat af Kjeld Hansen. Gads forlag 2023. 352 sider, 249,95 kr.



Den tavse klode

Dave Goulson er en af verdens førende eksperter i bier, og hans bog, *Den tavse klode*, giver en formidabel indsigt i insekternes forunderlige liv og betydning for alt andet liv på Jorden. Bogen er en international bestseller og nu udkommet på dansk med oversættelse ved miljøjournalisten Kjeld Hansen. Verden over er insekterne i voldsom tilbagegang, og hvis de arbejdsomme skabninger overhovedet skal overleve og trives, er der brug for en verdensomspændende opvågning og debat om, hvordan vi får en giftfri fremtid. Ikke mindst i Danmark, der er det hårdest dyrkede land i Europa og det land, som leverner mindst plads til naturen.

FAKTA

Søren Overgaard:  
*En verden af indtryk.* Gads forlag 2023. 240 sider, 299,95 kr.



En verden af indtryk

Hver morgen sker et lille mirakel. Miraklet er, at du vågner og kommer til bevidsthed. Bevidstheden er det største mysterium af dem alle. Indtil for nylig var der ingen bud på, hvordan bevidst oplevelse kan opstå i menneskehjernens myriader af nerveceller – eller noget som helst andet sted. En stribe nye teorier forsøger at give svar, og svarene udfordrer i den grad vores billede af virkeligheden og vores plads i den. Lektor i filosofi Søren Overgaard tager i denne bog læseren på en tankevækkende og oplysende rundtur i bevidsthedens mysterier.

FAKTA

Jeppe Kyhne Knudsen:  
*Vi omskriver livets kode.* Gads forlag 2023. 240 sider, 299,95 kr.



Vi omskriver livets kode

Med genredigeringsteknikken CRISPR står vi mennesker med den ene fod i en ny tidsalder. En tidsalder, hvor vi kan mikse gener og redesigne alt liv – fra de mindste mikrober til de største pattedyr. Hvor vi kan udrydde sygdomme i babyer, før de bliver født, helbrede ellers uhelbredelige sygdomme, få bakterier til at producere de råstoffer, vi mangler, og måske endda bringe uddøde dyr som mammutten tilbage til livet. Baseret på interviews med førende danske og udenlandske forskere på området fortæller videnskabsjournalist Jeppe Kyhne Knudsen i denne bog den fascinerende historie om opdagelsen af generne frem til opdagelsen af CRISPR for godt tyve år siden og om mulighederne i den teknologi, der spås at blive definerende for det 21. århundrede.

FAKTA

Offentlige Foredrag i Naturvidenskab,  
Se [ofn.au.dk](http://ofn.au.dk)  
Der er gratis adgang til foredragene.



Offentlige Foredrag i Naturvidenskab

I efteråret kan du opleve følgende foredrag i serien Offentlige Foredrag i Naturvidenskab. Foredragene livestreames til en lang række lokationer over hele landet.

- 19. september: *Saving our insects.* Ved professor Dave Goulson
- 26. september: *Kan fortidens DNA hjælpe os i fremtiden?* Ved professor Eske Willerslev
- 24. oktober: *Hvordan fungerer hjernen?* Ved professor Lars Østergaard
- 7. november: *Antistof og antiverdenen.* Ved professor Jeffrey Hangst
- 14. november: *Uden kryptering ingen internet.* Ved professor Ivan Damgaard og professor Jesper Buus Nielsen
- 21. november: *Celler deler os.* Ved lektor Lotte Bjergbæk.



KØBENHAVNS  
UNIVERSITET

# BLIV KLOGERE SAMMEN

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

Du slipper ikke for lange dage og hårdt arbejde. Men du lærer at samarbejde, løse

problemer med data og matematik og se sammenhænge på tværs af fag. Kompetencer, du kan bruge direkte, når du skal ud på jobmarkedet.

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

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

# PLANETEN, DER IKKE VAR

I 1943 opdagede danskeren Kaj Aage Strand for første gang en planet omkring en stjerne udenfor vores eget Solsystem. Eller det troede han i hvert fald.

Opdagelsen blev siden dementeret, men da havde den allerede ændret vores syn på verdensrummet.

**K**un de allerdygtigste evnede at se det, danske Kaj Aage Strand så. At en udtværet sort klat på små fotografiske glasplader flyttede sig. Ikke mere end en hårsbred, men nok.

Klatten var stjernen 61 Cygni, og Strand kunne med sin millimeterskrue måle, at den svingede fra side til side hvert femte år. Noget med en tyngdekraft måtte hive i den. En lille, lyssvag stjerne måske?

Han satte krydser i et koordinatsystem. Et for hver måling. Indhentede flere plader med billeder af stjernen fra verdens observatorier. 23 fra Potsdam i Tyskland, otte fra Lick i Californien og 16 fra Sproul uden for Philadelphia. Det kunne ikke passe. Den ellers lige linje blev mere og mere bølget, jo flere krydser han satte. Det her var ikke en stjerne. Det var noget meget, meget mindre på kun 16 gange Jupiters masse. Noget, verden ikke havde set før.

Året var 1943, og krigen buldrede. Strand trænede navigatører på amerikanernes B29-bombefly, efter at han i 1938 emigrerede til USA, men han fandt tid til at skrive om sin epokegørende opdagelse i *Astronomical Society of the Pacific*: »Planetbevægelser uden for solsystemet er blevet fundet.«



Kaj Aage Strand i computercentret, Northwestern University 1958.

Strand havde opdaget den første exoplanet, en planet uden for solsystemet. Det var noget, astronomer havde drømt om i århundreder, og de jublede over Strands fund, selvom der var tale om en kold ubeboelig gaskæmpe.

35 år senere faldt den. I dag er Strands planet en af flere fantoplaneter, der blev opdaget fra 1940'erne og frem til 1960'erne, men som forsvandt i måleusikkerheder og overfortolkninger.

Mens den levede, nåede Strands falske exoplanet dog at ændre

astronomien og ironisk nok åbne porten til næste generations faktiske planetfund. Og så kan det endda vise sig, at han havde ret, delvist. For rumteleskopet Gaia har for nylig fundet en mulig planet i kredsløb om netop 61 Cygni.

## Den tiende planet

Strand blev født i Hellerup 1907 i en tid, hvor ikke mange gik op i exoplaneter. Han tog sin kandidatuddannelse i astronomi på Københavns Universitet i 1931, var kollega til Inge Lehmann på Geodætisk Institut frem til 1933, arbejdede sammen med Ejnar Hertzsprung i Leiden indtil 1938, fik en ph.d.-grad og tog så til USA.

Han ledte efter skjulte ledsagere til dobbeltstjerner (61 Cygni er egentlig en dobbeltstjerne), men selvfølgelig ikke exoplaneter, som tilhørte fantasier og forfattere. Samtidig var han tålmodig, ambitiøs og risikovillig. Og da han efter at have målt afstande på de lysbilledeplader i fire år så, at der i koordinatsystemet åbenbarede sig en planet omkring 61 Cygni, slog han til.

»Det første klare bevis på eksistensen af planeter uden for solsystemet er nu accepteret af astronomer,« skrev *Time Magazine* om Strands opdagelse. »Der er nu ingen tvivl om, at der eksisterer et tredje legeme, som drejer rundt

## Om forfatteren



Gunver Lystbæk Vestergård er cand. public. og ph.d. i videnskabsjournalistik. Hendes store interesse er fysik, astronomi og videnskabshistorie, men hun anlægger også gerne en videnskabsvinkel på aktuelle samfundsforhold. Hun er forfatter til bogen *Fjerne kloder* og medforfatter til en række andre populære videnskabelige bøger. [guve@weekendavisen.dk](mailto:guve@weekendavisen.dk)

om en af de klare stjerner med en periode på 4,9 år,« skrev *Nature*.

Også de danske medier fik fat i nyheden. Fra Svendborg Avis til Holbæk Amts Venstreblad lød det, at en dansker havde opdaget en tiende planet. Men noget var gået galt i oversættelsen, og få måneder senere måtte Ritzaus Bureau skuffe folket med artiklen »Den nye "planet" dementeret«. Strand havde ikke fundet en tiende planet i solsystemet, men blot den første planet uden for solsystemet.

### En teori må dø

På den anden side af Nordsøen i engelske Somerset vidste en af datidens aldrende koryfæer inden for astronomien, James Jeans, udmærket godt, hvor skelsættende Strands opdagelse var.

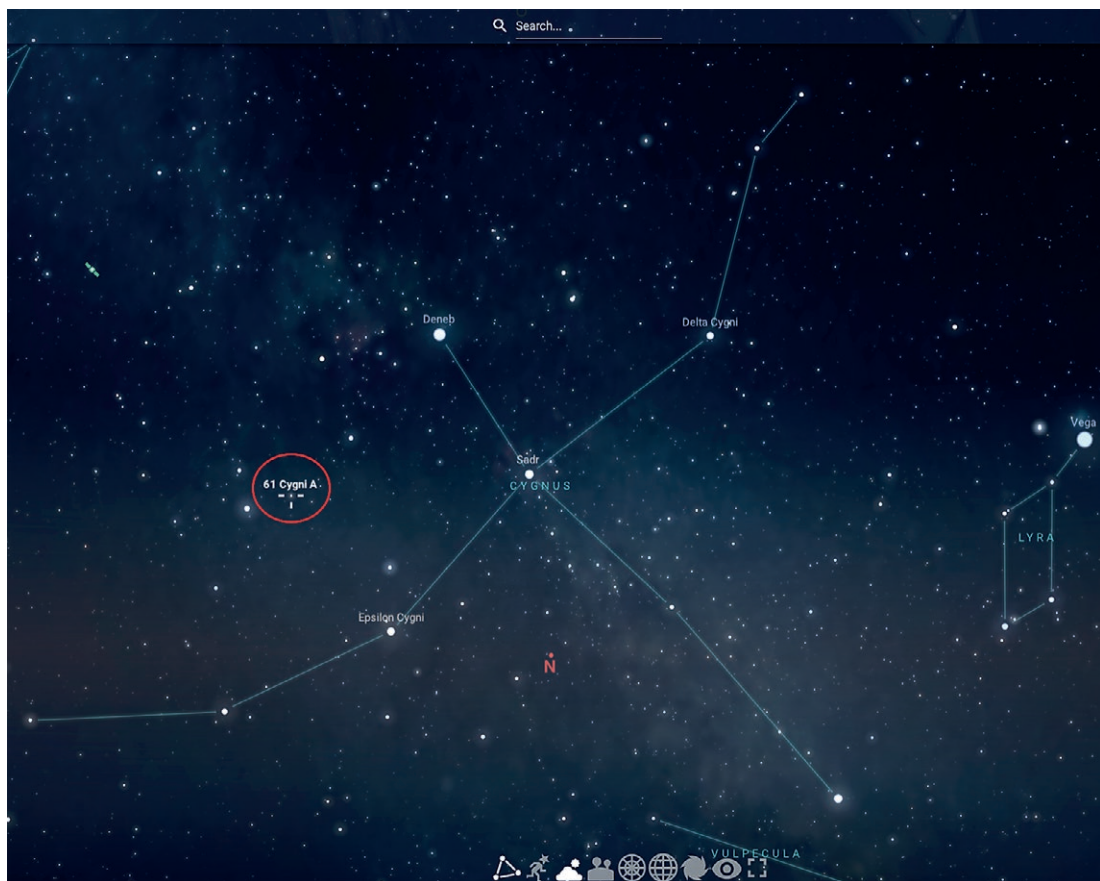
Jeans var blandt andet berømt for sin teori om, at planeter dannes, når to stjerner næsten støder sammen og trækker stof ud af hinanden med deres ustyrligt stærke tyngdekræfter – kendt som tidevandsteorien. Sådanne stellare støvsmøder er dog få, og derfor måtte galaksen være en planetarisk ørken med måske kun et par enkelte planetsystemer foruden solsystemet.

Men så kom Strand med sin planet. Jeans' teori vaklede. Hvis Strand havde fundet en exoplanet, og det troede Jeans, at han havde, så måtte der være millioner, måske milliarder af dem.

»Jeans ændrede mening på baggrund af påstandene fra Strand og andre,« siger den amerikanske videnskabshistoriker Steven J. Dick. »Efter 1945 sagde han, at planetsystemer sandsynligvis var almindelige.«

Fjerdeudgaven af bogen *The Universe Around Us* nåede Jeans også akkurat at skrive om, inden han døde i 1946.

Tidevandsteorien mødte allerede kritik i 1930'erne, og den kom især



Stjernen 61 Cygni (i den røde cirkel) – der rettelig er en dobbeltstjerne – kan på nattehimmelen findes i stjernebilledet Svanen (cygnus) ikke langt fra dette stjernebilledes klareste stjerne Deneb. Illustration via [stellarium.org](http://stellarium.org).

fra en anden gigant, Henry Norris Russell. Han var på grænsen til det hoverende, da han i 1943 skrev i *Scientific American*:

»På grundlag af disse nye beviser forekommer det sandsynligt, at der blandt stjernerne er mange, som ledsages af legemer så små som planeter. Dette er et radikalt skifte – praktisk talt en omvendning – fra det synspunkt, som var udbredt et årti eller to tilbage.«

Han slutter artiklen med en historisk fanfare:

»Det kan derfor med rette hævdes, at denne seneste opdagelse fuldender det arbejde, som Kopernikus begyndte for fire århundreder siden (...), og der er ikke længere grundlag for at antage, at hverken denne verden eller dens beboere er enestående eller på nogen måde den "første, sidste og bedste af ting". Erkendelsen af dette bør

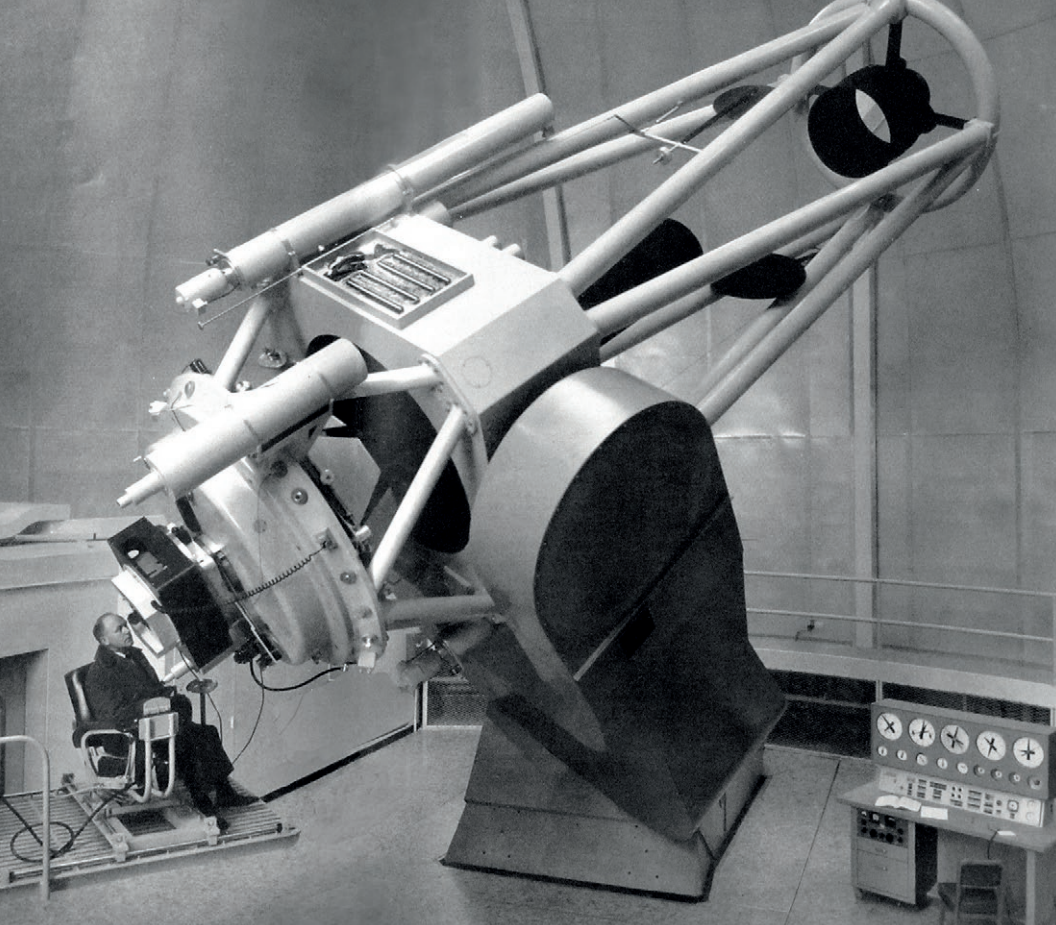
være god for os.«

I 1960'erne var de fleste nået frem til den erkendelse, som også hersker i dag: At planeter dannes ud af den skive af støv, sten og gas, som en stjernefødsel efterlader, og at der må være et utælleligt antal af dem. Strands planet – der aldrig formelt fik noget navn – blev udødeliggjort i romanen *Mission of Gravity* (1954) af Hal Clement og i tv-serien *Star Trek* som Tellarite-racens hjemplanet Tellar. Den var heller ikke længere alene.

### Barnards planet

Inden krigen var Strand ansat på Sproul Observatory ved Swarthmore College. Han blev inviteret af observatoriets højtrespekterede leder, hollandske Peter van de Kamp, og det var her, han stødte på 61 Cygnis baneforstyrrelser.

Efter krigen forlod Strand Sproul og skrev siden kun én artikel mere om



Her ses Kaj Aage Strand i Flagstaff, Arizona, med det teleskop, han selv designede, og som er opkaldt efter ham. Privatfoto.

exoplaneter, nemlig da han i 1957 nedjusterede massen på sin planet til otte gange Jupiters. Men van de Kamp fortsatte planetjagten. Hele seks blev det til for ham og resten af Sproul-gruppen frem til 1970. Én af dem fandt han omkring Barnards stjerne, og efter offentliggørelsen i 1963 gjorde den for alvor exoplaneter folkelige.

61 Cygni er lidt mindre og lidt ældre end Solen. Den er 11,4 lysår væk i stjernebilledet Svanen. Selvfølgelig er den interessant, men intet at regne sammenlignet med juvelen Barnards stjerne, der er sølle seks lysår væk. Van de Kamps planet, der var på størrelse med Jupiter, blev hurtigt *talk of the town*. Så meget, at nogle endda foreslog den som mål for de første interstellare rejser.

Der havde været masser af andre proklamerede planetfund siden midten af 1800-tallet, og kort efter Strand offentliggjorde sit fund, blev en planet omkring stjernen 70 Oph A eksempelvis foreslået. Men ingen virkede så holdbare som dem fra Sproul. Barnards stjerne blev omtalt i magasiner, tv-shows og bøger med van de Kamp som den

glade fortæller. 61 Cygni-planet blev hevet med af strømmen og fik en runde to i medierne. Sproul så en eksplosiv stigning i antal studerende og fondsbevillinger, og datidens søgninger efter ufoer og rumvæsner blev koblet til de nye exoplaneter.

Sådan gik det altså til, at Strands og van de Kamps opdagelser fik ændret ikke blot astronomernes, men også folkets syn på exoplaneter og liv i rummet. Det var en forudsætning for, at vi for alvor kunne komme i gang med at lede i 80'erne og 90'erne. Men der var ingen planeter.

### Et svingende teleskop

I 1973 overtog tyske Wulff-Dieter Heintz chefstolen på Sproul Observatory efter Peter van de Kamp. Samme år fik han at vide, at en anden astronom ikke langt derfra havde ledt forgæves efter en planet omkring Barnards stjerne. Alarmeret gik Heintz straks i gang med at undersøge de fotografiske plader.

»Han var bare en ordentlig og grundig forsker, der ville have, at hans institution var et ordentligt sted,«

forklarer videnskabsjournalisten John Wenz om Heintz' motiv for at granske sin ven og forgængers arbejde. Wenz er forfatter til bogen *The Lost Planets* om Sproul-planeterne.

Det var ikke, fordi nogen havde begået grove fejl eller sjustet. De var der bare ikke, planeterne. Heintz lagde dem i graven i 1978 med en artikelindledning, der for altid ødelagde venskabet med van de Kamp: Der er ingen beviser for eksistensen af exoplaneter.

Den forsvundne Barnard-planet trak 61 Cygni med sig i faldet, og en for en viste Heintz, at der ikke var noget, der hev i stjernerne, men nogen på Jorden, der havde justeret teleskopet. Når det var blevet efterset, flyttede stjernerne sig – som om de havde planeter.

»Beviserne peger på, at den målte ikkelineære bevægelse skyldes teleskopets optik og ikke en ledsager,« skrev Heintz.

Til sidst var der ikke flere planeter tilbage. Menneskeheden havde alligevel ikke bevist, at der fandtes planeter uden for solsystemet. På det tidspunkt havde Strand, nu også amerikansk statsborger, trukket sig tilbage efter en imponerende karriere som forsker ved blandt andet Northwestern University og senest som videnskabelig leder af U.S. Naval Observatory, hvor han fik et teleskop opkaldt efter sig. Planetfundet var med andre ord ikke definerende for hans arbejde. Alligevel blev han såret over Heintz' angreb, fortæller datteren Vibeke Strand.

»Jeg ved, at han var utilfreds, men jeg ved ikke, om han orkede at gå tilbage og argumentere for sin sag. Det var jo udregninger lavet i hånden, og så vigtigt tror jeg ikke, at han mente, den bestemte planet var,« siger Vibeke Strand. »Det vigtige var mere, hvad han havde teoretiseret og *forsøgt* at bevise.«

Mens Strand således kapitulerede,



forsvarede van de Kamp Barnard-planeten til sin død.

»Strand var agnostikeren, der havde fundet noget under krigen, men siden var gået videre med andre ting. Van de Kamp så sig selv som pioneren for hele exoplanetfeltet,« siger forfatteren John Wenz og tilføjer:

»Generationen efter, dem, der fandt de første exoplaneter, fik kuldegysninger, når de hørte van de Kamps navn. De ville for alt i verden ikke ende som ham.«

Den første exoplanet blev opdaget i 1995, og i dag kender vi over 5.000.

## Gaias planet

En »Strand« vil de fleste til gengæld gerne være. Han tog også fejl, men med æren i behold.

»Nogen skulle jo gøre forsøget. Tage risikoen. For der er ting, som virker umulige og usandsynlige, men som viser sig at være rigtige,« siger Wenz.

Strand vedblev også at tro på eksistensen af exoplaneter og liv i rummet. I 1968 spurgte Berlingske Tidende ham:

»Tror De på liv på planeter uden for vort solsystem?«

»Det må man vel, siden den kosmiske udvikling, som fører til dannelsen af planeter og i videre forstand til organisk liv, ikke synes at bero på specielle omstændigheder,« svarede han.

Om sin egen planet, den om 61 Cygni, sagde han til førortalte Steven Dick under et interview i 1983: »Jeg er sikker på, at der er en forstyrrelse af 61 Cygnis bane, men vi har ikke præcise nok observationer til at kunne bevise det.«

Astronomerne har i den grad forsøgt at finde Strands planet. Både i 1995, 2008, 2017 og senest i 2021, men forgæves. Indtil nu.

Rumteleskopet Gaia har nemlig langt om længe set, hvad Strand så. At noget hiver i 61 Cygni. Gaias målinger er 1.000 gange mere præcise end Strands, og hvad teleskopet har fundet, ville Strand aldrig have kunnet finde på sine plader.

I spidsen for Gaia-fundet står den franske astronom Pierre Kervella fra Observatoire de Paris. Han er mere end 99 procent sikker på, at et himmellegeme kredser om 61 Cygni, og mere end 80 procent sikker på, at det er en planet. »Det, der står tilbage, er, at der nok er noget derude med en masse på omkring ti gange Jupiters masse,« fortæller Kervella, der forsigtigt kalder planeten en »indikation«.

Massen passer altså nogenlunde med Strands planet, men Gaias bud er meget længere væk fra moderstjernen og 30-90 år om at nå rundt om den.

Strands planet, præcis som han beskrev den, findes altså ikke, men det er lige meget, anfører Kervella.

»Det er helt normalt i videnskaben. Det kan også være, at Gaia-signalet forsvinder om to år, fordi vi blev klogere. Strand så et signal, han troede, var en planet, og han sagde det højt. Det var det rigtige at gøre.«

Det underfundige er, at Gaia bruger samme metode som Strand, nemlig astrometri. Metoden går ud på at måle stjernerens position og bevægelser. Vores egen Tycho Brahe – og Strands forbillede – var verdensmester i astrometri og lavede datidens mest præcise målinger af stjernernes bevægelser på himlen. For at slutte cirklen brugte Johannes Kepler Brahes data til at udtænke sine planetlove, og det var de love, som Strand opdagede, at 61-Cygni-stjernesystemet ikke adlyder.

Professor emeritus og stjerneforsker ved Aarhus Universitet Jørgen Christensen-Dalsgaard forklarer,

at Strand påstod at have målt en afstand, der svarer til at se Månen flytte sig 20 meter. Næsten en umulighed på Strands tid. Trods overfortolkningen er han dog imponeret over sin landsmands bedrift:

»Jeg har selv siddet med den slags plader. Og jeg må indrømme, at det blev jeg ikke voldsomt inspireret af. Det er dødkedeligt, så hatten af for, at han holdt ud.«

Af historiske grunde kunne han godt ønske sig, at nogen fandt de originale plader og efterprøvede Strands målinger.

»Han havde jo sådan set ret,« siger Christensen-Dalsgaard. »Men på et forkert grundlag.«

Ud af de godt 5.000 bekræftede exoplaneter er kun omkring 50 fundet ved hjælp af astrometri, og Gaia står bag næsten dem alle. Når den fjerde og sidste datapakke fra Gaia kommer i 2025, bliver det billede formentlig ændret radikalt. Ud over at kunne bekræfte planeten omkring 61 Cygni forventes Gaia at overgå teleskopet Kepler i antal planetfund. Kepler fandt over 2.600 exoplaneter. Gaia står til at finde mindst 10.000. Strands metode kan altså vise sig at være den, der sejrer til sidst.

»Det er astrometriens hævn,« siger Pierre Kervella om det, andre har kaldt den astrometriske revolution.

Selvom noget er skrupforkert, kan det altså ende med at blive motoren i et videnskabeligt fremskridt, og det er typisk ifølge videnskabshistorikeren Steven Dick. Han nævner marsmeteoritten ALH 84001, som NASA mente indeholdt fossile bakterier fra vores naboplanet. Det gør den ikke.

»Men den fik feltet astrobiologi til at blomstre,« påpeger han.

Gaia-folkene har ikke noget bud på et navn til den mulige planet omkring 61 Cygni. Må man foreslå noget med Strand? ■

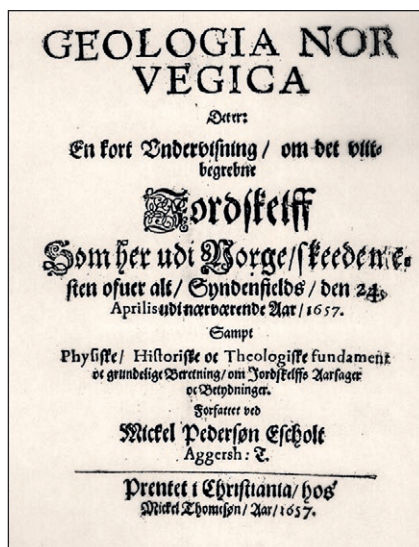
# ORD OM VIDEN – VIDEN OM ORD

Naturvidenskaben har sit eget sprog til at formulere og kommunikere viden. Sproget og de ord, det består af, har ændret sig radikalt gennem tiden, hvorfor et sprogligt og terminologisk perspektiv er vigtigt for at forstå videnskabshistorien.

**G**eologi betyder læren om Jorden på græsk, og tilsvarende betyder *biologi* læren om liv.

Man kunne så tro, at navnene på de to videnskaber har været kendt siden oldtiden, men det er ikke tilfældet. Faktisk optræder "geologi" først på tryk i 1657, nemlig som titel på en bog om et lokalt jordskælv skrevet af den norske præst Mikkel Escholte. Hvad angår "biologi", skal vi helt op til 1800, før ordet optræder i den lærde litteratur, og det tog det meste af et århundrede, før det vandt indpas i sproget. Charles Darwin var biolog uden at vide det og uden at betegne sig selv som sådan. Han var naturhistoriker eller på engelsk "naturalist".

Ja, Darwin var ikke engang videnskabsmand, eller rettere, han var ikke en "scientist". Denne betegnelse for en udøver af naturvidenskabelig forskning blev først foreslået i 1834 af den engelske filosof og polyhistor William Whewell, der et par år senere også opfandt ordet "physicist" som et alternativ til det almindeligt brugte "naturfilosof" (natural philosopher). Whewells ord er eksempler på såkaldte *neologismer*, dvs. nye ord der ikke har været kendt eller brugt tidligere.



Ordet geologi optræder først i Mikkel Escholtes bog fra 1657, der seks år senere udkom i engelsk oversættelse.

Den berømte fysiker Michael Faraday brød sig ikke om Whewells neologismer, der heller ikke faldt i god jord blandt andre af Englands naturforskere. Så sent som 1924 var der i tidsskriftet *Nature* en længere og ophedet diskussion om, hvorvidt man skulle anerkende ordet "scientist" eller ej. Indtil den tid havde tidsskriftet konsekvent nægtet at bruge det.

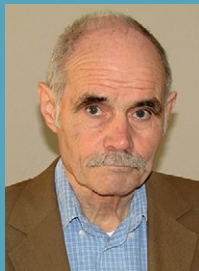
Som antydning har videnskabelige ord af enhver art en omskiftelig historie, der generelt afspejler den måde, videnskaben har udviklet sig på. Al videnskabelig kommunikation, uanset hvor specialiseret og

abstrakt den er, er baseret på de ord, sproget består af. Ved at fokusere på ord og deres betydning gennem tiden fås ikke blot et rigere billede af videnskabshistorien, men også af den nuværende forskning. Ord er ikke blot ord, de er en nøgle til at forstå væsentlige dele af videnskabens dynamik.

## Eponymer: Når personer lægger navn til videnskabens ord

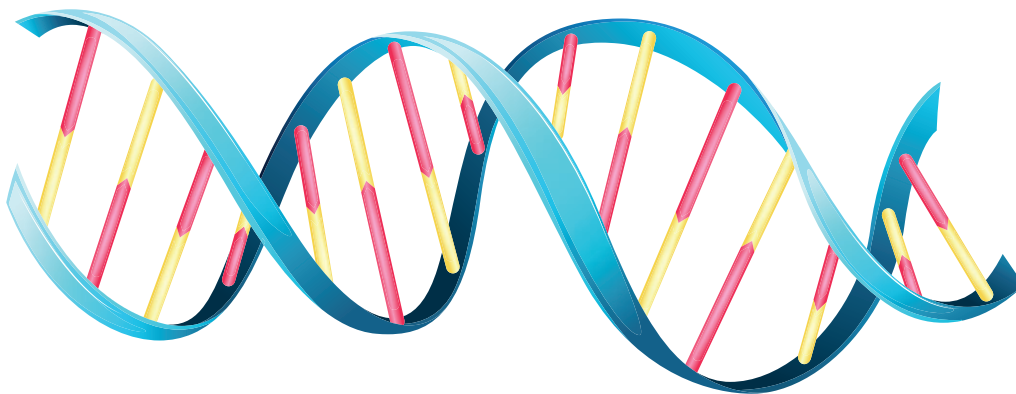
Mange af videnskabens begreber, instrumenter, love, enheder og objekter er opkaldt efter personer. Disse *eponymer*, som de kaldes, henviser i de fleste tilfælde til mere eller mindre berømte forskere eller opfindere, men det kan være til enhver person, uanset om vedkommende er virkelighed eller ej. Planeterne Mars og Jupiter er opkaldt efter romerske guder og dermed eponymer. En komet er navngivet efter Cæsar, en asteroide efter Bismarck og en trilobit efter Mike Jagger. Traditionen med at bruge eponymer som videnskabelige termer går tilbage til oldtiden og lever stadig i bedste velgående. Det samlede antal eponymer i videnskabshistorien er voldsomt stort og anslås i lægevidenskaben alene at være omkring 20.000. Blandt de

## Om forfatteren



Helge Stjernholm Kragh er videnskabshistoriker og professor emeritus ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet. Han har læst fysik og matematik på Københavns Universitet og er dr. phil. fra Aarhus Universitet, samt dr. scient. fra Roskilde Universitet.

Han forsker p.t. i, hvordan det videnskabelige sprog har ændret sig fra renæssancen til i dag, herunder hvordan fagtermer er opstået i forskellige videnskaber. helge.kragh@nbi.ku.dk



DNA er en forkortelse (akronym) for deoxyribonucleic acid og er uden tvivl det mest almindelige akronym i en videnskabelig sammenhæng. Det er også almindeligt brugt i hverdags sproget om end mange næppe vil kunne gøre rede for, hvad det egentlig står for. Illustration: Colourbox

alment kendte eponymer er enhedene volt, joule og watt, og også ord som pasteuriseret, darwinisme og kopernikansk hører hjemme her. Mens eponymer refererer til personer, er *toponymer* ord, der henviser til steder. Grundstoffet hafnium er opkaldt efter København og ebolavirus efter en flod i Den Demokratiske Republik Congo.

De fleste eponymer er hædersbetegnelser, og netop af den grund er flere af dem i nyere tid blevet udsat for massiv kritik. For hvad hvis det viser sig, at den pågældende person havde tjent på handlen med slaver eller på anden vis havde forbrudt sig mod nutidens moralkodeks? Er det acceptabelt, at det officielle navn for en bestemt bille er *Anophthalmus hitleri* opkaldt efter Adolf Hitler? At eponymer kan være politisk kontroversielle viste sig for nylig, da der blev rejst indvendinger mod navnet James Webb Space Telescope for NASA's nye og meget dyre rumteleskop. Problemet var, at den afdøde James Webb skulle have været homofob og udvist upassende adfærd over for sorte og andre minoriteter. Det agtværdige Royal Astronomical Society skyndte sig at sortliste eponymet, og NASA måtte iværksætte en undersøgelse af Webbs moralske habitus. Eponymet overlevede.

### Akronymer: Forkortelser vinder frem

I stedet for at sige diklordinofenyltriklorætan siger vi DDT, som er et *akronym* for den både gavnlige og miljøskadelige kemiske forbindelse. Tilsvarende taler vi om en *laser*

og ikke om et apparat til frembringelse af "light amplification by stimulated emission of radiation". I det sidste, men ikke i det første, tilfælde kan akronymet udtales, sådan som det også kan i *radar*, der er en forkortelse af "radio detection and ranging" først brugt i starten af 1940'erne. I sjældne tilfælde kan et ikke-udtaleligt akronym gøres udtaleligt ved at dele ordet, sådan som tilfældet er med det meget omtalte PFAS (*perpolyfluoroalkyl substances*), der som bekendt udtales p-fas.

Forkortelser i form af sådanne akronymer var næsten ukendte før det 20. århundrede, mens moderne faglitteratur er fyldt med dem og ofte af en sådan art, at de kun er forståelige for eksperter. Et nyt studie baseret på millioner af videnskabelige artikler viser, at antallet af akronymer per 100 ord var 0,7 i 1950, mens det i 2019 var vokset til 2,4. Hvad mere er, de mest populære akronymer består af tre bogstaver (som i DDT), mens akronymer af denne type med to eller flere end tre bogstaver er mere sjældne.

Det mest brugte videnskabelige akronym er utvivlsomt DNA (*deoxyribonucleic acid*), der stammer fra starten af 1940'erne og som optræder i titlen på omkring en halv million forskningsartikler. Hvis det ikke havde været for den forkortede form, ville det ikke have migreret fra forskningssproget til det almindelige sprog, hvor det i dag hyppigt bruges i en mere figurativ forstand. Vi kender alle til

"DNA-register" og ved, hvad det betyder, når det om en person siges, at "det ligger i hans DNA". Akronymet og dets forskellige afledte ord er da også forlængst optaget i *Den Danske Ordbog*. Andre populære akronymer som HIV = *Human Immunodeficiency Virus* stammer fra den medicinske verden.

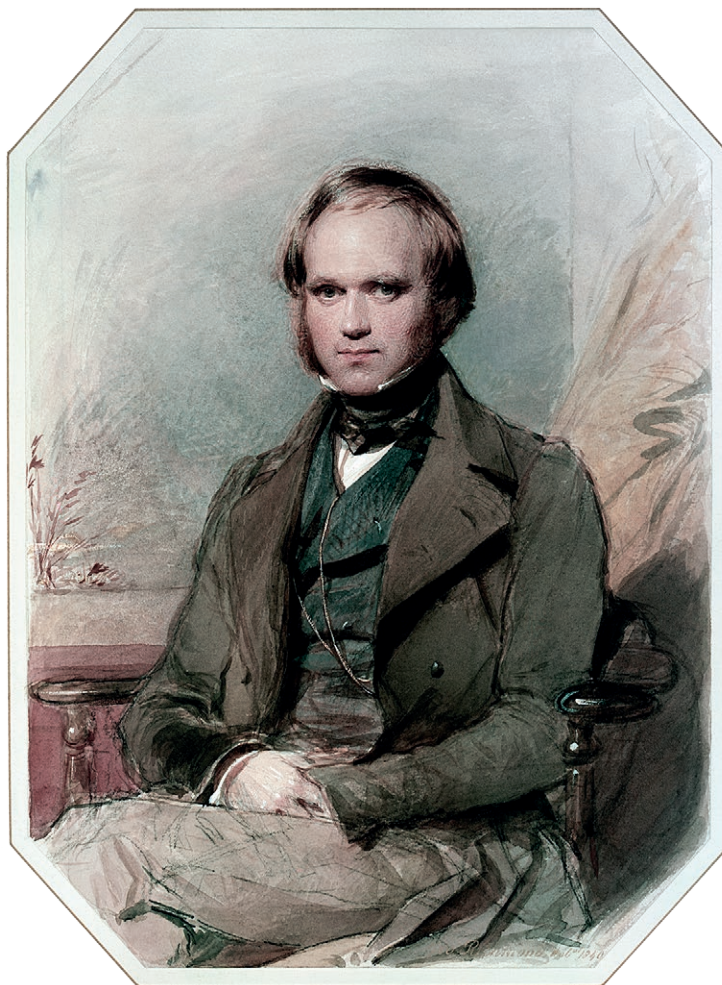
### Metaforer

Når den klassiske Bohr-Rutherford atommodel fremstilles i elementære lærebøger eller i en populær sammenhæng, sker det ofte ved at fremhæve ligheden med solsystemet.



Foto: Michael Munitz/via Wikimedia commons/CC BY-SA 3.0

Et uheldigt eponym? Den blinde og sjældne bille *Anophthalmus hitleri* lever kun i nogle få huler i Slovenien.



Charles Darwin (1809-1882) – her portrætteret af maleren George Richmond – var i sin samtid hverken videnskabsmand eller biolog, men naturfilosof.

met. Atomkernen svarer til Solen, og elektronerne til planeterne. Der er tydeligvis tale om blot en analogi eller *metafor*, da mikrokosmos trods alt er helt forskellig fra makrokosmos. Metaforer er i almindelighed en mere eller mindre fri oversættelse af noget faktisk til et sprogligt billede, der minder om det faktuelle men har en anden mening. Jeg kan ikke bevæge mig med lysets hastighed, men metaforisk kan jeg godt.

Mens metaforer af gode grunde optræder overalt i poesi og romaner, er deres funktion i videnskabelig sprogbrug omdiskuteret og har altid været det. Én ting er, at de er pædagogisk værdifulde, men der er uenighed om, hvorvidt de også er værdifulde i en videnskabelig forstand. Til tider har man helt bestræbt sig på at undgå dem, da de jo strengt taget giver et misvisende

billede af den virkelighed, videnskaben søger at afdække. Alligevel har naturforskere ofte benyttet sig af metaforer, hvad de stadig gør. Ud over deres retoriske funktion kan de spille en vigtig rolle ved at inspirere forskeren til nye idéer om sammenhænge i naturen.

I sin *Origin of Species* fra 1859 benyttede Darwin sig bevidst af en række metaforer ikke blot som talemåder men også som nødvendige dele af sin argumentationskæde for udvikling gennem naturlig selektion. Som han anførte, så skulle den berømte frase om “kampen for tilværelsen” (struggle for existence) hovedsageligt forstås metaforisk. Så længe det står klart, at metaforer ikke skal opfattes bogstaveligt, er brugen af dem uskyldig. Kernepartikler består af kvarker, og for de kræfter, der binder dem sammen, har man op-

fundet ordet *gluon*, der metaforisk relaterer til lim (glue = lim). Ingen tror for alvor, at der faktisk er lim i atomkernen.

### Migration af ord

Det semantiske indhold af et ord, dets mening, ændres generelt med tiden og den kontekst, det indgår i. Der kan være tale om en teknisk betegnelse i ét videnskabeligt område, der overføres til et andet område, hvor det så optræder i en helt anden betydning. Som et eksempel kan nævnes *plasma*, der i betydningen blodplasma stammer fra 1836 og som i 1928 blev genanvendt som en teknisk term for en gasagtig blanding af elektroner og positive ioner. Fysikernes plasma var helt forskellig fra lægernes, men ordet var det samme. Tilsvarende vil matematikere bruge ordet vektor på én måde og epidemiologer samme ord på en helt anden måde.

I mange tilfælde vil ord migrere enten fra dagligsproget til det videnskabelige sprog eller i den modsatte retning. Ord som “kraft” og “arbejde” var kendt lang tid før, de optrådte i fysikken som entydigt definerede fagtermer. Omvendt er en lang række videnskabelige ord migreret til dagligsproget, hvor de ofte metaforisk optræder i en betydning, der er forskellig fra den oprindelige. Fra kemien har vi udtryk som “hermetisk tillukket” og “god kemi” for forholdet mellem to personer. En bestemt politisk handling kan være en “lakmusprøve” for regeringen, eller den kan have en “katalytisk effekt på økonomien”. I sidstnævnte tilfælde bruger vi et ord (katalyse), der først blev foreslået af den svenske kemiker J. J. Berzelius i 1835. Der er mange af den slags eksempler, der tilsammen kaster et nyt lys over såvel sproghistorien som videnskabshistorien.

Ovenstående er naturligvis kun en vag antydning af, hvordan sprog og ordvalg indgår som centrale elementer i naturvidenskabens historiske dynamik. ■

**Videre læsning**  
Gordin, M. (2017) Scientific Babel: The Language of Science from the Fall of Latin to the Rise of English.  
Kragh, H. (2023) A terminological history of early particle physics. Archive for History of Exact Sciences 77, 73-120.  
Pulaczewa, H. (1999). Aspects of Metaphor in Physics: Examples and Case Studies. Max Niemeyer Verlag doi.org/10.1515/9783110915938

LAD AU STÅ FOR UNDERVISNINGEN

# LIVESTREAM FORELÆSNINGER DIREKTE IND I KLASSEVÆRELSET

I efteråret kan du bl.a. se livestreams om kofri mælk og om, hvordan teknologi kan være med til at redde klimaet. Forelæsningerne er skræddersyet til gymnasieelever.

Brug dem som indspark i temaforløb om fx bæredygtighed, klima eller miljø.



Tilmeld dig efterårets livestreams og se tidligere forelæsninger på:

[au.dk/gymnasielivestream](https://au.dk/gymnasielivestream)



NATURAL SCIENCES  
AARHUS UNIVERSITET

# VIDENSKABS- KLUBBEN:

## Når naturvidenskab bliver en leg

Rigtig mange børn mister interessen for naturvidenskab gennem deres tid i folkeskolen, men i Videnskabsklubben strømmer de til for at blive undervist af ældre elever fra gymnasiet, som selv får mindst lige så meget ud af forløbet.

» **J**eg har helt klart kunnet bruge det, jeg lærte i Videnskabsklubben. Jeg har fået en evne til at formulere mig og formidle viden til andre, sådan at alle kan forstå det, men uden at det bliver for dumt.

Sådan lyder refleksionen fra 19-årige Nanna Kalmar, om hvordan hendes tid som mentor i Videnskabsklubben spillede ind, da hun for nylig deltog i – og vandt – den landsdækkende talentkonkurrence *Unge Forskere*.

Konkurrencen har en tungtvejende formidlingsdel indbygget, eftersom deltagerne skal fremlægge deres projekter for både jurymedlemmer, familier og folkeskoleelever fra hele landet.

Projektet "Let there be (optimal) light" – og Nannas evne til at formidle det – skaffede hende en 1. plads i konkurrencens seniorkategori. Selv er hun ikke i tvivl om, at hendes erfaring fra Viden-



Nanna Kalmar fra 3.g på Egå Gymnasium.  
Privatfoto.

skabsklubben var afgørende for resultatet.

»Jeg kunne helt klart mærke, at jeg havde en fordel, fordi jeg allerede har prøvet det her med at formidle i et sprog, som alle forstår,« siger Nanna, som til daglig går i 3.g på Egå Gymnasium.

### «Vildt fedt» at formidle til yngre elever

Erfaringen med at formidle har Nanna ligesom 300 andre gymnasieelever hentet ved at bruge 7 eftermiddage i efteråret 2022 på at være mentor i Videnskabsklubben og undervise 12 børn fra folkeskolens mellemtrin.

Som mentor skulle hun forklare teori, forelægge dagens spørgsmål og hjælpe børnene gennem en række forsøg og eksperimenter inden for emnet materialefysik.

Arbejdet som mentor er frivilligt, og Nanna blev på forhånd oplært i såvel det faglige som det didaktiske på en stor oplæringsworkshop for alle Videnskabsklubbens mentorer.

Alle materialerne til det 7 uger lange forløb blev derefter sendt ud til hendes gymnasium, og derfra overtog hun og de andre mentorer ansvaret. Når undervisningen løber af stablen, er der nemlig tale om et voksenfrit rum.

#### Forfatterne



Rikke Schmidt Kjærgaard er ph.d. og direktør i Videnskabsklubben  
rikke@videnskabsklubben.dk



Charlotte Price Hoffmann er kommunikationsansvarlig i Videnskabsklubben  
charlotte@videnskabsklubben.dk

»Det var vildt fedt at prøve at formidle noget stof, som man selv kender ret godt, til nogen, som er interesserede, men samtidig også yngre og har et helt andet udgangspunkt end én selv. Samtidig forstår man også selv stoffet bedre,« siger Nanna, som efter forløbet modtog et kompetencebevis.

### Videnskabsklubbens tilgang er unik i dansk kontekst

Med sin efterhånden store erfaring med at formidle naturvidenskabelige emner til yngre børn kan der ikke herske tvivl om, at Nanna er en af de rollemønstre, som STEM-verdenen virkelig efterspørger. STEM står for Science, Technology, Engineering & Mathematics.

Flere analyser og undersøgelser har afdækket, hvordan netop rollemønstre er et af de mest effektive og brugte værktøjer, når det kommer til at vedligeholde og forstærke børn og unges interesse for naturfagene.

Der er dog mange forskellige måder at arbejde med rollemønstre på, og Videnskabsklubbens særlige tilgang med at lade unge undervise yngre børn – også kendt som "peer-to-peer" undervisning – i en fritidskontekst er unik i dansk sammenhæng.

I løbet af 7 uger går børn fra 4.-6. klasse "til videnskab", ligesom man kan gå til fodbold eller spejder. Undervisningen foregår på et lokalt gymnasium, hvor ansvaret alene hviler på skuldrene af 3-4 frivillige gymnasieelever.

Videnskabsklubben står til gengæld for alt det praktiske rundt om mentorerne, herunder et nøje beskrevet og gennemtestet program for hver dag i forløbet.

### Rollemønstre er afgørende for uddannelsesvalg

Peer-to-peer er en internationalt anerkendt metode til at vække og fastholde interessen for et emne – i dette tilfælde naturfag og naturvidenskab generelt.



## Om Videnskabsklubben

Videnskabsklubben er en nonprofitorganisation (NGO), der arbejder for at fremme børn og unges forhold til naturvidenskab. Tilbuddet er gratis, takket være økonomisk støtte fra især Novo Nordisk Fonden.

I Videnskabsklubben kan børn i 4.-6. klasse gå til videnskab i fritiden en dag om ugen, helt ligesom man kan gå til fodbold eller spejder. Emnerne varierer fra biodiversitet til materialefysik, mikrobiologi, matematik, primatologi og kemi, og forløbene strækker sig over 7 uger. Der er plads til 12 børn på et hold.

Det helt særlige ved Videnskabsklubben er, at det er ældre elever fra gymnasiet og folkeskolens ældste klasser, der underviser børnene. Der er voksne forbudt.

Videnskabsklubben er inspireret af et lignende initiativ i USA, Boston Science Club for Girls, som direktør Rikke Schmidt Kjærgaards egen datter gik til, da de boede der i forbindelse med et forskningsophold i 2013. Dengang fandtes der ikke noget lignende i Danmark, og Videnskabsklubben er fortsat unik i dansk kontekst.

I 2023 udbydes der 81 Videnskabsklubber i 40 danske byer, og inden 2028 er det planen, at der skal udbydes hold i alle kommuner med et gymnasium. Efterspørgslen er utroligt stor.

Videnskabsklubben finder sted hvert år fra uge 43 til 49, begge uger inklusive, på gymnasier i hele landet. I 2023 samarbejder vi med 54 gymnasier, hvilket svarer til mere end hver femte.

Videnskabsklubben har pt. 6 forskellige naturvidenskabelige forløb, som man kan gå til - biodiversitet, hvor børn og unge sammen skal artsbestemme planter og dyr, er et af dem. Indholdet i alle forløb er udarbejdet i samarbejde med forskere.

Foto: Lars Svankjær.

Dels oplever børnene, at deres undervisere er langt tættere på dem, i alder såvel som mentalt. Læg dertil, at gymnasieeleverne får hjælp til undervisningen af 7.-9. klasser elever, som også selv har meldt sig frivilligt til forløbet.

Børnene kan lettere relatere til de lidt ældre elever, mens de ældre elever omvendt lettere kan sætte sig i deres målgruppes sted og derfor relativt ubesværet formår at skabe undervisning i øjenhøjde. De ældre elever opnår dermed hurtigt status

I Videnskabsklubben er der ingen konkurrence eller karakterer. Formålet er alene at lege og have det sjovt sammen i et præstationsfrit rum.  
Foto: Lars Svankjær



## Børn mister interessen for STEM

- En del litteratur viser, at børn typisk har en interesse og nysgerrighed for naturvidenskab, når de starter i grundskolen, men at interessen daler gennem skoletiden, særligt i 11-15-årsalderen. Det er bemærkelsesværdigt, at når først interessen for STEM er aftaget i grundskolen, er den svær at genskabe senere.
- Problemet er særligt stort for piger. Andelen af piger, der ikke interesserer sig for STEM, stiger 21 procentpoint mellem 4. og 9. klasse mod 13 procentpoint for drengene. Men altså et markant fald i interesse for begge grupper.
- Vi ved, at forældre samt fritidsaktiviteter både i og uden for skolen har stor betydning for børn og unges interesse for STEM. Men der mangler undersøgelser, der ikke blot har fokus på at undersøge interessen for STEM og IT som en del af fagpakken i grundskolen, men som har en bred tilgang til interesser som noget, der i høj grad også finder sted uden for skolen.
- Der mangler generelt viden om, hvad der sker i perioden, og hvorfor mange mister interessen for STEM i deres folkeskoletid. Men i 2021 påbegyndte VIVE (Det Nationale Forsknings- og Analysecenter for Velfærd) et større forskningsprojekt ved navn SCOPE, som skal afdække, hvordan børn og unges interesse for naturvidenskab skabes, fastholdes eller forsvinder. De første resultater ligger klar i udgangen af 2023.

Kilder:  
Tænketanken DEA, VIVE (SCOPE-projektet), Engineer the Future/IDA

af ikke bare rollemodeller, men *opnåelige* rollemodeller, hvilket i denne sammenhæng er afgørende.

Meget forskning peger nemlig på, at valget af uddannelse senere i livet i høj grad er et identitetsvalg. Hvem bliver jeg, hvis jeg vælger at beskæftige mig med naturvidenskab? Derfor er det afgørende at præsentere børnene for relaterbare rollemodeller indenfor naturvidenskab.

### Gymnasieelever får lige så stort udbytte som børnene

Men selvom det i Videnskabsklubben er børnene, der "går til videnskab", får de ældre elever mindst lige så meget ud af forløbet, som Nanna Kalmar fint illustrerer.

Som enhver lærer kan skrive under på, findes der næppe et mere effektivt læringsredskab end at formidle sin egen viden videre til andre. Over halvdelen af mentorerne melder sig desuden som frivillig, fordi det giver dem mulighed for at forbedre deres egne formidlingsevner.

Når forløbene er slut, er det netop



muligheden for at prøve kræfter med undervisning, der af de fleste mentorer fremhæves som særligt positivt, samt selv at lære nyt, mens man lærer fra sig.

»Det har været en megafed oplevelse at undervise børnene«, »Man kan se blot på 7 uger, hvor meget børnene rykker sig,« og »Det har været så dejligt at undervise børnene og lære hvad/hvor meget det kræver at lære fra sig,« lyder det for eksempel i mentorenes evalueringer.

### Et talenttilbud uden konkurrence

I Videnskabsklubben er det leg og nysgerrighed, der er omdrejningspunkt, og der er ingen konkurrence, karakterer eller læringsmål på spil.

Derfor bruger mange gymnasier forløbet som et talenttilbud til de dygtige elever, men uden konkurrenceelementet, som gør sig gældende i en del andre tilbud, for eksempel Unge Forskere.

Det er i den sammenhæng interessant, at der også er en stor del af Videnskabsklubbens mentorer, som

har valgt at melde sig til at arbejde med de yngre børn på grund af chancen for at videregive deres egen passion for naturvidenskab.

Mange ville ønske, at der havde eksisteret et lignende tilbud, da de selv var børn og synes derfor, det er vigtigt at stille sig selv til rådighed som rollemodel for yngre børn.

I en rapport fra Tænketanken DEA (2019) lyder en af konklusionerne, at især mange piger har svært ved at se sig selv i STEM, fordi de ønsker at "arbejde med mennesker" og "hjælpe andre". Mange har også svært ved at se naturfagene som noget, der finder sted uden for skolen.

I Videnskabsklubben får denne gruppe præsenteret en bro til at overkomme begge barrierer.

### »Måske er det, jeg gør, faktisk ret sejt«

Alt i alt er der ingen tvivl om, at Videnskabsklubbens unikke metoder virker, og det er der altså mange gode grunde til at 87% af de børn, der deltager i et forløb, oplever at blive styrket i deres inte-

resse for naturvidenskab. I deres besvarelser hersker ingen tvivl om, at de opnåelige rollemodeller er et afgørende parameter.

Men selvom Nanna Kalmar i dén grad er en af de rollemodeller, er hun ikke en af dem, der har brugt særlig meget tid på at tænke over sin rolle som én, andre ser op til. Hendes egen motivation for at melde sig var først og fremmest chancen for at videreformidle viden.

»Det er mærkeligt at tænke på, at jeg kan være nogens rollemodel. Det tænker jeg faktisk ikke så meget over. Jeg tænker bare, at jeg er Nanna,« siger hun med et lille grin, men tilføjer så alligevel:

»Jeg synes ikke, at man møder så mange kvindelige rollemodeller indenfor naturvidenskab, så hvis jeg kan være det, synes jeg faktisk, at det er meget sejt. Lidt underligt, men også meget sejt. Det er fedt at hjælpe andre, og hvis nogen kan hente inspiration fra mig. Nogle gange tænker jeg, at det, jeg gør, ikke er noget særligt – men måske er det faktisk ret sejt.« ■

### Videre læsning

Hvordan får vi STEM på lystavlen hos børn og unge? - Og hvilken rolle spiller køn for interesseskabelsen? Tænketanken DEA, 2019.

Litteraturstudie: Unges vej til STEM. Tænketanken DEA, 2018

Closing the STEM Gap - Why STEM classes and careers still lack girls and what we can do about it. Microsoft, 2018

Archer, L. et al (2012): Science aspirations, capital, and family habits: How families shape children's engagement and identification with science. *American Educational Research Journal*, vol. 49(5), pp. 881-908.

"Forskere skaber viden om, hvordan kønsstereotyper bliver skabt og udvikler sig" igangværende forskningsprojekt (maj 2023-september 2026), projektleder Maria Falk Mikkelsen, VIVE

Drew, C. (2023): Peer to Peer Learning - Examples, Benefits & Strategies.

## Ny bachelor på SDU

### Kunstig intelligens

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

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

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

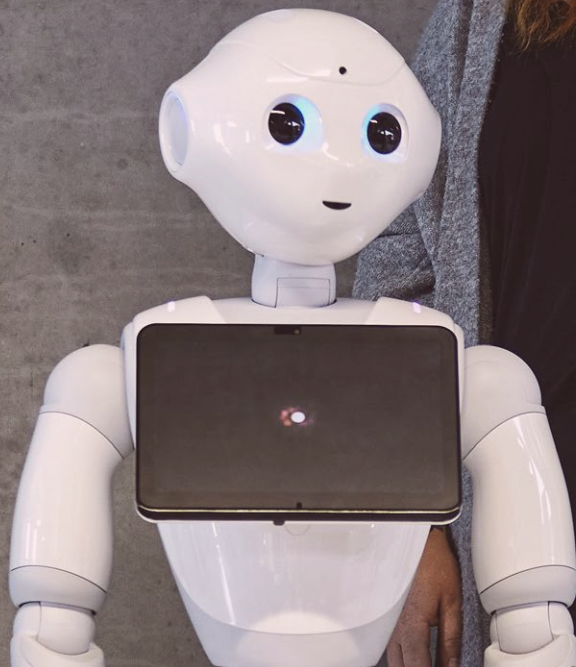
Læs mere om uddannelsen på [sdu.dk/kunstig-intelligens](https://sdu.dk/kunstig-intelligens)



AALBORG  
UNIVERSITET

# NY AI-UDDANNELSE I AALBORG

DESIGN OG  
ANVENDELSE AF  
KUNSTIG INTELLIGENS



**MAKE IT  
REAL**

NY DIPLOMINGENIØR-UDDANNELSE PÅ 3,5 ÅR. DE STUDERENDE LÆRER AT BRUGE DE NYESTE ALGORITMER OG AI-TEKNOLOGIER OG FÅR EN MASSE PRAKTISK ERFARING MED AI. LÆS MERE: [KUNSTIGINTELLIGENS.AAU.DK](https://www.kunstigintelligens.aau.dk)



## Undervisningsmaterialer

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

### Bølger og Parkinsons sygdom

Dette arbejdsark er undervisningsmateriale til artiklen *Parkinsons sygdom kan diagnosticeres gennem en telefonsvarerbesked* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 5/2022. Materialet kan anvendes i forbindelse med et forløb omkring bølger, hvor det kan inddrages som perspektiverende stof.

Målgruppe: Fysik C/B-niveau

Forudsætninger: Kendskab til begreberne amplitude, periode og frekvens samt energi (begreberne trænes dog også på arbejdsarket)

### RNA er jo bare matematik!

Dette arbejdsark tager udgangspunkt i artiklen *RNA er jo bare matematik!* fra Aktuel Naturvidenskab. Artiklen handler om, hvordan man kan forudse RNA-molekylets geometriske udformning ud fra

kendskabet til rækkefølgen af de nukleotider, det er opbygget af.

Arbejdsarket giver eleven en forståelse af, hvordan man kan bruge matematik til at modellere en meget kompleks struktur som et RNA-molekyle.

Fag: Matematik B/A evt. i samarbejde med biologi eller bioteknologi

Materialet er udarbejdet af projektgruppen på Viborg Katedralskole for Aktuel Naturvidenskab i forbindelse med projektet *Brobygning på første række* finansieret af Novo Nordisk Fonden.

### Quizzer

På Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside finder du flere end 80 naturvidenskabelige quizzer, der har udgangspunkt i artikler fra bladet. De er både til sjov og læring.

## ABONNEMENTS-SERVICE

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

Kontakt os på telefon:

3036 0662 / 3715 2094

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

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

Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

### Til nye abonnenter:

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

## OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

### Styregruppe

- **Astrid C. Johansen**, kommunikationskonsulent Roskilde Universitet
- **Birgitte Lyhne Broksø**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **David André Højlund Graff**, strategisk kommunikationsrådgiver, Aalborg Universitet
- **Jane Thoning Callesen**, communication manager, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Astrid C. Johansen**, kommunikationskonsulent Roskilde Universitet
- **Mikkel Linnemann Johansson**, teamleder, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **David Lundbek Egholm**, prodekan ved Faculty of Natural Sciences, Aarhus Universitet

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

Layout: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S

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

Oplag: 11.500



### Redaktionsgruppe

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

Redaktionen:

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

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

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

Postadresse:

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

Omslagsfoto:

En gruppe af vævermyrer samarbejder om at nå op til en attraktiv blomst.

Foto: Shutterstock.

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

# Kysset er oldgammelt, og det smitter!

Af David Graff, Det ingeniør- og naturvidenskabelige fakultet, Aalborg Universitet

**I**Bronzealderen begyndte en særlig herpes-variant at sprede sig pludseligt til Europa. Det dokumenteres i et studie af et internationalt forskerhold publiceret i *Science Advances* fra 2022, hvor forskerne havde studeret tænder fra menneskeskeletter i Europa dateret til år 253-1.700 f.Kr. Forfatterne anfører, at kysset på netop den tid opstod som almindelig social praksis, og at det kan være en forklaring på sygdomsspredningen. Men den teori holder ikke ifølge et nyt studie, som adfærdsbiolog på Oxford og Aalborg Universitet Sophie Lund Rasmussen har udført sammen med sin ægtefælle, adjunkt i assyriologi Troels Pank Arbøll, Københavns Universitet.

»Jeg arbejder selv med ancient DNA og blev meget fascineret over studiets vinkel på kysset som sygdomsspredner. I artiklens baggrundsmateriale skrev forfatterne, at det tidligst dokumenterede kys var fra 1.500 f.Kr. i Indien, men da Troels og jeg talte om det over aftensmaden, sagde han, at det kan han da slå med 1.000 år baseret på kilder fra Mesopotamien,« fortæller Sophie Lund Rasmussen.

Den bemærkning fik ægteparret til at indlede et fælles forskningsprojekt, som nu er endt ud med både at opdatere kyssets kulturhistorie og nuancere forståelsen af sygdomsspredning i oldtiden. Resultatet er for nylig publiceret i *Science* under overskriften *The ancient history of kissing*.

»Vi mener ikke, at kysset kan anses som noget, der pludseligt opstår og accelererer overførslen af oralt overførte mikrober. De relevante skrifter fra oldtidens Mesopotamien, som har været kendt blandt assyriologer gennem årtier, dokumenterer, at kysset som adfærd har eksisteret længe. Kysset må derfor antages at have haft en konstant indflydelse på smitteoverførsel i de historiske samfund. Det kan ikke ses som en pludselig smittespredner,« forklarer Sophie Lund Rasmussen.

Hun tilføjer, at den erkendelse også har relevans i dag, da det taler ind i aktuelle diskussioner om smitteveje og sygdomsspredning,



Et relief fra oldtidens Irak (Mesopotamien) dateret til 1.888 f.kr. dokumenterer, at kysset på den tid var en kendt adfærd. Foto: The British Museum/CC BY-SA 4.0

Kilde: *Science* Vol. 380, Iss. 6646, pp. 688-690.

vi alle møder på næsten daglig basis disse år. I fortolkningen af resultaterne af de kulturhistoriske studier af kys i Mesopotamien har ægteparret inddraget eksempelvis både evolutions- og adfærdsbiologiske hypoteser om formålet med kyssets opståen, adfærdens forekomst hos chimpanser og dværgchimpanser samt kortlægning via oldtids-DNA af infektionssygdomme, som var i omløb allerede i oldtiden, og som kan overføres via spyt.

Der er dog ifølge Sophie Lund Rasmussen endnu mange spørgsmål, der står ubesvaret hen, såsom hvorfor det romantisk-erotiske kys langt fra findes i alle kulturer, og hvornår kysset rent faktisk opstod. Adfærden ses nemlig også hos vores nærmeste nulevende slægtninge, chimpanserne, hvilket kunne tyde på en langt ældre oprindelse.