

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL
natur VIDENSKAB

TITAN: EN MULIG KEMISK SUPERSTJERNE

Cellernes vitale svingninger
Fra kvantefysik til kvantecomputere
Fremtidens kunstige intelligens
kræver smarte algoritmer

NR.6 - 2022 DECEMBER: 50 KR.

NOTER

Ung forsker vinder EM-guld

Vi har tidligere i år omtalt, at den danske gymnasieelev Konrad Basse Fisker fra Roskilde Katedralskole vandt den danske konkurrence Unge Forskere med sit projekt om, hvordan man ved at ændre generne i spiselige alger kan brødføde mennesker på missioner til Mars. Projektet var så godt, at han nu også har vundet EM i Science (EU Contest for Young Scientists) foran 131 andre unge forskere fra 33 lande, der alle har vundet guld i deres hjemland.



Kilde: Astra

Quizzen

Hvorfor er det en udfordring for kemikere at bruge grundstoffet titan som katalysator?

- A) Fordi titan er sjældent grundstof og derfor meget dyrt.
- B) Fordi titan naturligt kun optræder i højeste oxidationstrin, Ti^{4+} .
- C) Fordi titan kun virker som katalysator ved høje temperaturer.

Se svaret i artiklen om titan som mulig kemisk superstjerne.

Aktive pupper

En myres livscyklus går fra æg over larve til puppe og til sidst en voksen myre. Forskere har for nylig for første gang observeret, at myrer i puppestadiet producerer en mælkeagtig væske, som både larver og voksne myrer i kolonien ernærer sig af. Nyudklækkede larver er afhængig af væsken for at overleve, og pupperne er for deres del afhængige af, at væsken bliver konsumeret, for ellers hober den op og inficeres med svampe. På den måde bliver de ellers tilsyneladende nytteløse pupper, som arbejdsmyrerne blot flytter rundt på, til et aktiv for kolonien, og mekanismen medvirker til at binde hele kolonien sammen på tværs af vækststadier som en slags superorganisme.



Myrepuppe. Foto: USDA APHIS PPO/CC by 3.0

Kilde: Nature



Foto: Colourbox

Dyb bas booster festen

Mennesker på et dansegulv bevæger sig mere, når der spilles beats med en lavfrekvent bas, selvom frekvenserne ikke kan høres, viser ny forskning. Ved en koncert på McMaster University i Hamilton, Canada med duoen Orphx, der spiller elektronisk musik, udstyrede forskerne nogle af gæsterne med sensorer, der registrerede deres bevægelser. Når forskerne kobledede VLF-højttalere til (VLF = Very Low Frequency), bevægede de sig mere livligt på dansegulvet. Men forsøgspersonerne kunne ikke bevidst sige, hvornår lyden blev spillet gennem VLF-højttalerne.

Kilde: Current Biology

Tyngkraft og dårlig mave

Irritabel tyktarm – også kaldet Irritabel Bowel Syndrome (IBS) – er en såkaldt funktionel syndromdiagnose, som rammer op til 10 % af verdens befolkning. På trods af den store udbredelse ved man ikke, hvad årsagen til lidelsen er. I en ny afhandling i *The American Journal of Gastroenterology* foreslår Brennan M. Spiegel fra Cedars-Sinai Medical Center i Californien, at tilstanden simpelthen bundet i vores krops manglende evne til at håndtere tyngdekraften. Ifølge Spiegel er denne hypotese testbar og vil kunne stimulere til at tænke i nye baner om denne og andre udbredte lidelser.



Foto: Colourbox

Kilde: AJG Vol. 117 – Iss.12 - p 1933-1947

Årsag til Mars-tsunami

Et internationalt forskerhold har identificeret et 110 km stort meteoritkrater på Mars, som de mener, kan være årsagen til en megatsunami i Mars' tidlige historie for 3,4 milliarder år siden. Krateret, som forskerne har døbt Pohl, befinder sig i et område i det nordlige lavland – cirka 120 meter under, hvad der engang har været overfladen på et hav. Ved hjælp af simuleringer af meteoritnedslag fandt forskerne, at et krater af denne størrelse på Mars enten kan være forårsaget af en 3 eller 9 km stor asteroide afhængig af, hvor stor "modstand" asteroiden mødte fra den unge Marsoverflade.

Kilde: Scientific Reports.



Foto: Colourbox

Flere søer på Jorden

Vores klode har fået langt flere søer de seneste årtier, viser en unik global kortlægning af 3,4 millioner søer, som forskere ved Københavns Universitet har været med til at lave. Især små søer, som udleder store mængder drivhusgas, er der kommet flere af. Udviklingen har dermed stor betydning for CO_2 -regnskabet, økosystemerne og adgangen til vandressourcer.

Kilde: KU/Nature Communications

indhold



Fremtidens kunstige intelligens kræver smarte algoritmer

Udviklingen af computere er sket i et tæt samspil mellem udvikling af hardware og software. Fremtidens udfordring bliver i høj grad at forbedre de algoritmer, man bruger til machine learning, hvis ikke computerens strømforbrug skal stikke helt af.

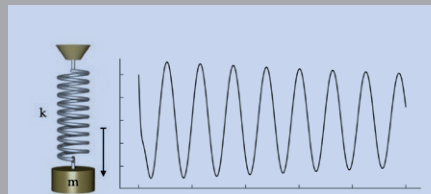
8



Titan: En mulig kemisk superstjerne

Dansk forsker forsøger at udvikle katalysatorer af titan. Det vil gøre kemisk produktion af en lang række stoffer billigere, end det er muligt i dag.

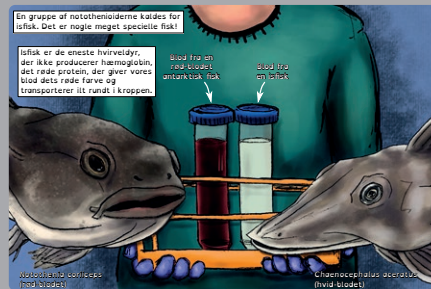
22



Cellernes vitale svingninger

De seneste år er det blevet påvist, at koncentrationen af en række afgørende proteiner i cellekernen udviser veldefinerede svingninger. Ny forskning forklarer, hvordan disse svingninger er med til at optimere vitale processer som DNA-reparation.

30



Tegneserie: En mystisk sygdom i antarktiske fisk

En historie fra ishavet omkring Antarktis om den sortfinnede isfisk (*trematomus scotti*) med en mystisk sygdom, hvor store svulster vokser ud af kroppen.

36

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 KORT NYT
- 8 Fremtidens kunstige intelligens kræver smarte algoritmer
- 14 Fra kvantefysik til kvantecomputere
- 20 Marisela dykker ned i søens virkelige problemer
- 22 Titan: En mulig kemisk superstjerne
- 28 KORT NYT
- 30 Cellernes vitale svingninger
- 36 Tegneserie: En mystisk sygdom i antarktiske fisk
- 40 Efterskrift
- 42 Dommedagsuret
- 46 SERVICE og Bøger
- 44 BAGSIDEN: Flagermus og dødsmetal

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



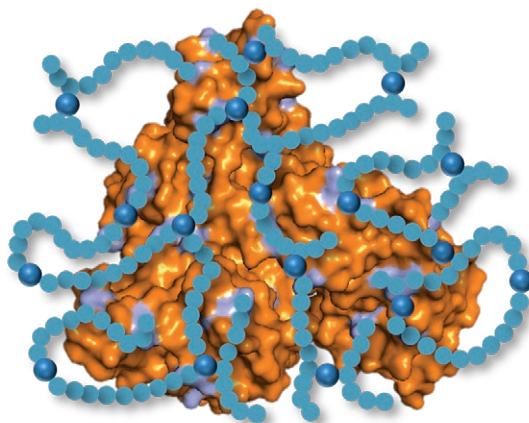
novo nordisk®

Klikkemi i mere bæredygtig udgave

At samle molekyler er en stor del af kemikernes arbejde – om det så gælder udviklingen af nye rensningsanlæg, batterier eller opvaskemidler; der opstår ikke noget nyt produkt, før molekylerne er sat rigtigt sammen. En udbredt metode til at samle molekyler er klikkemi, som i år indbragte den danske kemiker Morten Meldal Nobelprisen i kemi (sammen med Barry Sharpless og Carolyn Bertozzi).

»Klikkemi er en kæmpe opdagelse, en nobelpris er fuldt berettiget,« siger Changzhu Wu, der selv er kemiker og lektor på Institut for Kemi, Fysik og Farmaci, hvor han forsker i bæredygtige enzymer. Men, tilføjer han: »Fremtidens kemi skal være mere bæredygtig, og det gælder også klikkemien.«

Sammen med sin forskningsgruppe har Wu udviklet en ny type klikkemi, som han betegner bæredygtig. Traditionel klikkemi skal bruge en katalysator for at sætte den ønskede kemiske reaktion i gang (i klikkemi er det som sagt at få nogle molekyler til at samle sig), og den katalysator er kobber-ioner.



»Kobber er effektivt som katalysator, men giftigt for levende organismer. Vi har derfor arbejdet med at finde et alternativ til kobber i klikkemi,« siger Changzhu Wu.

Det samme gjorde Carolyn Bertozzi, der greb Morten Meldals opdagelse og fandt på en måde at undgå de giftige kobber-ioner ved at ændre klik-molekylernes form til ottekantet, hvilket gjorde dem mere reaktive og i stand til at klikke sammen uden kobber-ioner. Den teknik gjorde hende til med-modtager af nobelprisen.

»I vores klikkemi arbejder vi stadig med kobber – men på en anden måde. Vi inkorporerer kobber-ionerne i proteiner og skaber dermed et metalloenzym, som allerede findes i vores organisme. Kobber i proteiner udgør ingen fare for hverken naturen eller levende organismer,« forklarer Wu.

Til opgaven har forskerholdet brugt billige og bionedbrydelige proteiner; bovins serum albumin (BSA), som stammer fra køer og er et almindeligt standardprotein. Det får hæftet en polymer på sig, og det er i disse samlinger, at man kan få kobber-ioner til at indlejre sig i proteinerne og derefter fungere som den katalysator, der sætter klikkemien i gang.

På figuren ses polymernetværket som en kæde af lyseblå kugler, der er påhæftet proteinet i baggrunden, mens de kraftige mørkeblå kugler repræsenterer kobberatomer.

Af Birgitte Svennevig, SDU. pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.bioconjchem.2c00363.

Dårlig luft i klasselokalet

Ien ny kortlægning af kemien i luften i klasselokalerne blev der fundet over 450 forskellige flygtige organiske forbindelser i luften, såkaldte VOC'er. Kortlægningen blev lavet i forbindelse med Astras masseeksperiment i 2021, hvor 76 skoleklasser målte den totale mængde af kemikalier i luften i deres klasselokale hvert tiende minut over fire uger. Resultaterne blev sendt til analyse hos forskere ved Institut for Bio-og Kemiteknologi ved Aarhus Universitet, og slutrapporten fra dette masseeksperiment er for nylig udkommet.

De kemiske stoffer fundet i eksperimentet kommer især fra eleverne selv – sved,



Foto: Colourbox

udånding, parfume, deodorant – og ikke mindst fra håndsprit og fra madpakkespising i pauserne. Men også selve lokalerne og deres indhold bidrager til kemi i luften. Stofferne har navne som butansyre, toluen og acetaldehyd. 15 procent af de mest hyppigt forekommende stoffer er potentielt sundhedsskadelige.

ventilation oplever signifikant lavere niveauer af kemiske stoffer sammenlignet med klasser med manuel udluftning. De klasser, som både har mekanisk ventilation og samtidig lugter ud, oplever de laveste gennemsnitskoncentrationer af kemi i måleperioden.

Resultaterne viser, at 96 procent af klasserne oplevede koncentrationer af kemiske stoffer over det anbefalede maksimale niveau, men med stor lokal variation. Halvdelen af klasserne havde koncentrationer over det anbefalede niveau i en time dagligt.

Undersøgelsen viser tydeligt, at ventilation og udluftning hjælper; Klasser med mekanisk

CRK, Kilde: Astra

Selvopladelig pacemaker forbedrer patienters livskvalitet

Behandling af langsom hjerterytme er en realitet for tusindvis af danskere. Hvert år får cirka 4.500 et livsnødvendigt behov for at få indopereret en pacemaker. Pacemakere overtager via et stykke batteridrevet elektronik den elektriske puls i hjertet, hvis hjerterytmen er for langsom.

Desværre har pacemaker-batterier begrænset levetid, og derfor har patienterne hidtil været nødt til at gennemgå en operation hver gang, batteriet skal skiftes ud.

Nu har forskere på Aalborg Universitet i samarbejde med professor Sam Riahi fra hjertemedicinsk afdeling på Aalborg Universitetshospital udviklet en særlig mini-generator, som kan levere livslang strøm til pacemakere. Derved undgår brugeren at skulle have udskiftet pacemakere.

Opfindelsen udgør ifølge Sam Riahi et paradigmeskifte inden for pacemakerbehandling.



Foto: AAU

»Udviklingen af den nye mini-generator, der kan forsyne en pacemaker med livslang strøm, er ikke kun interessant for den industri, som allerede producerer implantérbare elektroniske apparater til hjertet. Den vil også resultere i betydelige fordele for patienterne,« siger han.

»I dag er det sådan, at batteriet til pacemake-

ren holder i op til 10 år, hvorefter det skal skiftes ud. Men med en strømforsyning, som kan levere strøm på ubegrænset tid, undgår patienten at skulle opereres igen, og derved reduceres risikoen for forskellige komplikationer betydeligt«.

Det selvopladelige batteri, som forskerne har opfundet, er baseret på bevægelsesenergi. Det forklarer Alireza Rezaniakolaei, som er lektor på AAU Energi:

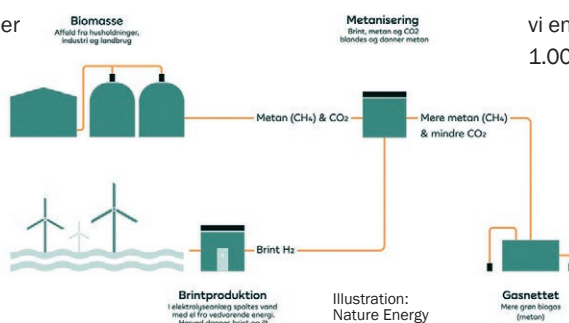
»Bevægelsesenergi – eller såkaldt piezoelektricitet – er en slags fysisk effekt, som i dette tilfælde sker, fordi der genereres elektriske ladninger på flader af en krystal. Det sker, når krystallen udsættes for et tryk eller et træk. På den måde sørger krystallen for at generere elektrisk opladning i form af bevægelsesenergi, og pacemakere kan høste den bevægelsesenergi, som hjertemusklaturen aktivt skaber«, lyder det.

David Graff, Aalborg Universitet

Forskere gør biogasanlæg endnu grønnere

Forskere fra Syddansk Universitet er klar med en storskala-model, som omdanner CO₂ fra biogasanlæg til biometan (CH₄) – populært kaldet grøn gas. På trods af status som grøn energikilde udleder biogasanlæg nemlig store mængder CO₂. Cirka 40 procent af den gas, som skabes i biogasanlæg, er CO₂, som futter ud ad skorstenen og direkte op i atmosfæren. Indtil nu. Nu kan forskerne nemlig indfange den overskydende CO₂ og forvandle den til grøn energi, som kan indgå i det almindelige gas-net og erstatte den fossile gas.

Forskerne har i samarbejde med virksomhederne Nature Energy og Biogasclean udviklet et rislefilter, som forvandler den overskydende CO₂ til biometan. Et rislefilter kender du måske, hvis du har din egen havedam, men derudover er det en kendt teknik, som landets vandværker og rensningsanlæg benytter.



Der er tale om et biologisk filter, som ikke blot er mindre energikrævende, men også mere effektivt og miljøvenligt end andre kendte metoder til at omdanne CO₂ til grøn gas.

Ph.d.-studerende Brian Dahl Jønson har arbejdet på projektet de seneste tre år, hvor hans fokus har været på at skalere teknologien op:

»Det er gået rigtig hurtigt. Vi begyndte med kolber på blot 0,3 liter i laboratorierne, men siden er det gået skridt for skridt. Først skabte

vi en 8-liters reaktor, efterfulgt af to store 1.000-liters-pilot-reaktorer. Vi har bevist, at det fungerer. Derfor er vi nu i gang med at opbygge et demoanlæg i stor skala på Glansager Biogas i Sønderborg.«

Demoskalaanlægget kommer til at være på tre gange 400 kubikmeter. Potentialet er enormt for Nature Energy, som årligt vil kunne spare 200.000 ton CO₂ ved fuldskalaanlæg

på alle deres biogasanlæg. Det svarer til den udstødning, som 55.000 personbiler udleder på et år. Ifølge Brian Dahl Jønson vil teknologien potentielt også kunne bruges andre steder end biogasanlæg – for eksempel i cementproduktion. Det afhænger dog af, hvilke gasser der konkret bliver udledt, for nogle gasser kan nemlig være giftige for de mikroorganismer, som bruges i det biologiske filter.

Sune Holst, SDU tek

Smeltende is gav flere vulkanudbrud

Da isen smeltede tilbage fra Nordamerika ved seneste istids slutning for omkring 18.000 år siden, blev dette ledsaget af årtusinder lange perioder med lavt iltniveau i det nordlige Stillehav. Forskere har hidtil undret sig over, hvilke mekanismer der ligger bag sammenhængen mellem disse iltsvindsperioder og den globale opvarmning på det tidspunkt. Men nu har et internationalt forsker-

hold givet et overraskende bud i tidsskriftet *Nature*. Forskerne har ved at lave kemiske analyser af borekerner fra nordlige Stillehav fundet, at disse perioder med lavt iltniveau tidsmæssigt er sammenfaldende med et øget indhold af vulkansk aske i sedimenter-



Foto: Shutterstock

ne på havbunden. De foreslår, at afsmeltningen af isen over Nordamerika har medført øget eksplosiv vulkanisme i regionen, fordi trykket på landområderne simpelthen er lettet – næsten som når man popper en flaske champagne. Asken fra vulkanerne har gødet

havet med blandt andet jern, som er det næringsstof, der begrænser algevæksten i disse havområder, og det har betydet en kraftig opblomstring af alger. Dette har så igen ført til iltsvind i bundvandet, da de store mængder døde alger sank til bunds og gik i forrådnelse.

Forskerne har også identificeret ældre episoder af iltsvind i de samme havområder, der er sammenfaldende med isafsmeltning over de seneste 50.000 år. Resultaterne tyder således på, at der findes koblinger mellem

atmosfære, ocean, isen og landjorden, som virker over relativt korte tidshorisonter og dermed kan være en vigtig drivkraft for biogeokemiske ændringer i havet.

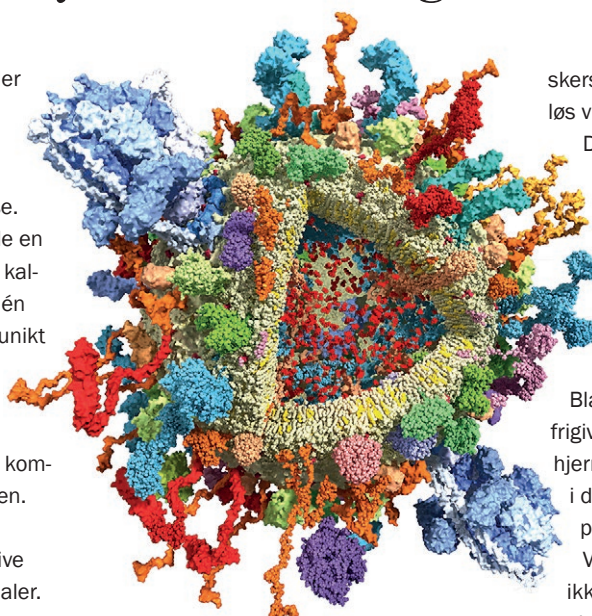
CRK, Kilde: *Nature* 611, pp 74–80 (2022)

Livsvigtigt enzym tænder og slukker tilfældigt

Millioner af hjerneceller sender konstant beskeder rundt mellem hinanden inde i hjernen for at bevæge kroppen og forme tanker og hukommelse. Når to hjerneceller mødes for at udveksle en besked, foregår det ved, at signalstoffer kaldet neurotransmittere transporteres fra én hjernecelle til en anden ved hjælp af et unikt enzym kaldet V-ATPase.

Dette er en fuldstændig livsvigtig proces i hjernen, som pattedyr og andre komplekse organismer ikke kan overleve uden. Derfor har forskere verden over indtil nu troet, at disse enzymer var konstant aktive for løbende at overbringe de vigtige signaler. Men det er de langt fra.

Ved hjælp af en ny banebrydende metode har forskere fra Kemisk Institut på Københavns Universitet nærstuderet enzymet og opdaget, at det tænder og slukker for sin aktivitet i helt tilfældige intervaller, hvilket modsiger vores tidligere viden om den vitale proces i hjernen.



Grafik: C. Kutzner, H. Grubmüller and R. Jahn/Max Planck Inst. for Multidisciplinary Sciences.

»Det er første gang, nogen har undersøgt disse enzymer i hjernen hos pattedyr ét molekyle ad gangen, og vi er dybt overraskede over resultatet. Stik imod hvad alle troede, og ulig mange andre proteiner, så stopper disse enzymer med at virke i alt fra få minutter til flere timer ad gangen. Alligevel er menne-

skers og andre pattedyrs hjerner på mirakuløs vis i stand til at fungere,« siger professor Dimitrios Stamou fra Kemisk Institut på Københavns Universitet, som har stået i spidsen for studiet.

For at overføre beskeder mellem to hjerneceller, skal neurotransmitterne først pumpes ind i en lille membranblære (kaldet en synaptisk vesikel). Blæren fungerer som en beholder, der frigiver neurotransmitterne mellem de to hjerneceller. Det centrale enzym, undersøgt i det nye studie, er ansvarlig for at forsyne pumpen i beholderen med energi. Uden V-ATPase kunne neurotransmitterne ikke komme ind i deres beholder og overføre beskeder mellem hjerneceller.

Studiet blev udgivet for kort tid siden og kom på forsiden af tidsskriftet *Nature*. På illustrationen viser de store blå strukturer V-ATPaserne på en synaptisk vesikel taget fra en nervecelle i et pattedyrs hjerne.

Michael Skov Jensen, Københavns Universitet

Kysten nedbrydes: En smartphone og en selfie-stang kan fortælle os hvor meget

Hvert år eroderer mellem 0,5 og 4 meter af den danske kystlinje væk på grund af storme og stærke havstrømme. I alvorligste instans kan det betyde ødelagte bygninger og bringe menneskeliv i fare. Derfor er det vigtigt for forskere, myndigheder og husejere at følge med i, hvordan kystlinjen udvikler sig i de udsatte områder.

I dag foregår overvågningen af kystlinjen primært ved hjælp af satellitdata, som kun kan observere kysten fra oven i 2D. Men målingerne giver mest et overordnet billede og er ikke ret præcise, hvis man vil undersøge, hvordan det står til med lidt mindre områder.

Men nu kan overvågningen laves ved hjælp af så simpelt et setup som en iPhone, en selfie-stang og en 3D-kort app. De nyere iPhones er nemlig udstyret med en såkaldt



Gregor Lützenberg i aktion med LIDAR-scanneren ved Rone Klint.
Foto: Kent Pærksen, IGN/SCIENCE

LIDAR-scanner, som sidder bag på telefonen sammen med kameralinserne.

»For techfirmaerne handler LIDAR-scanneren om at forbedre kameraets autofokus, men for mig og mit forskerhold er det en enkel, billig og langt mindre ressourcetung måde at måle kystens erosion på,« forklarer Gregor Luetzenburg fra Institut for Geovidenskab og

Naturforvaltning på Københavns Universitet, som har testet den nye metode.

LIDAR står for light detection and ranging, og scanneren udsender 576 impulser i alle retninger, hvilket gør den i stand til at måle dybder i fx et landskab. Og ifølge forskeren rummer den nye scanningsmulighed et stort potentiale for at lave en grundigere overvågning af vores kyster. Særligt hvis man kan aktivere borgere, der bor i de udsatte områder,

gennem citizen science.

»Det er lidt lige som at filme en video med telefonen. Og hvis du alligevel går tur med din hund hver dag på en af de strækninger, hvor kysten forsvinder, er det oplagt at borgere rundt i landet kunne hjælpe os med at overvåge kysterne,« siger Gregor Luetzenburg.

Michael Skov Jensen, Københavns Universitet

Kan RNA afsløre graviditetsdiabetes?

Graviditetsbetinget diabetes (sukkersyge) er en mild form for diabetes, der opstår i løbet af graviditeten og for de flestes vedkommende forsvinder igen efter fødslen. På verdensplan stiger forekomsten af graviditetsbetinget diabetes, hvilket til dels skyldes livstilsbetinget overvægt, som ligeledes er et stigende problem verden over. Selvom sygdommen i de fleste tilfælde forsvinder igen hos kvinden, er den alligevel en kilde til bekymring, fordi børn af disse kvinder kan have både kort- og langvarige komplikationer, der er relateret til moderens sygdom.

I en ny videnskabelig artikel, som Professor Louise Torp Dalgaard fra RUC har publiceret sammen med to studerende, Sofie Dinesen og Alisar El-Faitarouni, undersøger de, hvor-

dan små RNA-molekyler i blodet muligvis kan bruges til at diagnosticere sygdommen eller forudsige udviklingen af den tidligt i graviditeten.

I blodet cirkulerer mange forskellige små ikke-kodende RNA-molekyler, især såkaldt mikro-RNA, som enten er bundet til proteiner eller indkapslet i små blærer (vesikler) udenfor cellerne. Flere af disse mikro-RNA-molekyler er associeret med graviditetsbetinget diabetes, og nogle af dem er generelt opreguleret hos kvinder med sygdommen – også i de tidlige faser af graviditeten, før symptomer på sygdommen har vist sig.

En mulighed er derfor eksempelvis at udføre tests for disse mikro-RNA samtidigt med den nuværende test for kromosom-fejl. De tre forfattere påpeger, at der i litteraturen kan

være en bias, således at de mikro-RNA, der i dag er associeret med sygdommen også er dem, der har været kendt længst. Der er derfor sandsynligvis også nogle af de nyligt opdagede mikro-RNA, der er forbundet med graviditetsbetinget diabetes, selvom det ikke er konstateret endnu.

De konkluderer, at mikro-RNA i blodet vit-terligt har potentiale som biomarkører til diagnose af graviditetsbetinget diabetes, og at det specielt virker lovende at forudsige sygdommen ud fra algoritmer, der inddrager mange forskellige mikro-RNA'er. Flere studier er dog nødvendige for at komme dertil.

CRK, Kilde: *J Endocrinol.*
doi: 10.1530/JOE-22-0170.

Bagsiden ved at træne algoritmer til machine learning: Når datasættene bliver meget store, kræver det enorm beregningskraft og dermed et stort elforbrug. Denne problemstilling er en væsentlig drivkraft for udviklingen af mere smarte algoritmer. Foto: Shutterstock



FREMTIDENS KUNSTIGE INTELLIGENS kræver smarte algoritmer

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

Om forskeren



Kasper Green Larsen er ph.d. og nu professor i datalogi ved Aarhus Universitet. Kasper's forskning er indenfor teoretisk datalogi med særligt fokus på algoritmer, datastrukturer og machine learning. larsen@cs.au.dk

Aktuelt er Kasper Green Larsen leder af et Sapere Aude Research Leader Grant fra Danmarks Frie Forskningsråd. Projektet er baseret på at anvende tekniker udviklet indenfor datastrukturer til at forbedre machine learning og kryptografiske værktøjer.

Udviklingen af computere er sket i et tæt samspil mellem udvikling af hardware og software. Fremtidens udfordring bliver i høj grad at forbedre de algoritmer, man bruger til machine learning, hvis ikke udgifter til computernes strømforbrug skal stikke helt af.

Der var engang, hvor computere, der efter nutidens målestok vil blive betegnet som udpræget primitive, fyldte hele gymnastiksale og alligevel kun kunne foretage forholdsvis simple beregninger. I dag render de fleste af os rundt med mange gange mere computerkraft i lommen, end der som eksempel skulle bruges til at sende det første rumfartøj til Månen. I en iPhone 13 er der 75.000 gange mere regnekraft end i Apollo 13.

Den digitale revolution er i høj grad båret af teknologiske landvindinger, der har gjort computerchips, processorer og lagringskapacitet henholdsvis mindre, hurtigere og større. Via vores telefoner har vi på

få sekunder adgang til milliarder af billeder, musiknumre og informationer. Vores biler kan næsten køre selv, og alt fra kirurger til lagermedarbejdere er assisteret af intelligente robotter, som letter deres arbejde. Det er data, data og atter data.

Alt sammen kan dog ikke alene krediteres hardwaredelen af den teknologiske udvikling. Den anden halvdel er alt det, som foregår inde i hardwaren. Algoritmer og kunstig intelligens jonglerer i det skjulte med enorme mængder data, for at du så let som ingenting kan finde fra København til Eiffeltårnet, finde billeder af din ekskæreste på internettet eller finde frem til kunstneren og titlen

bag et musiknummer, som du hører i radioen.

En af de forskere, som er med til at udvikle morgendagens smarte algoritmer, er professor Kasper Green Larsen fra Institut for Datalogi ved Aarhus Universitet. Sammen med kollegaen Kaj Grønbæk holdt han for nylig i forbindelse med foredragsserien Offentlige Foredrag i Naturvidenskab et oplæg om, hvordan vi er kommet fra kuglerammer og kampen om at lave beregninger til at sende den første mand til månen til smartphones og Googlesøgninger efter nøgenfotos af kendisser.

»Hardware og de bagvedliggende algoritmer er fælles om den van-



vittige udvikling, som har fundet sted de seneste årtier. Selvom de fleste måske mest tænker på hardwaren, for eksempel størrelsen på en smartphone, som det centrale i den teknologiske udvikling, er de bagvedliggende algoritmer endnu vigtigere end selve hastigheden på de processorer, der skal køre algoritmerne. Man kan godt lave hurtige beregninger med en hurtig algoritme på en langsom processor som den, der sad i computeren ved månelandingen, men man kan ikke lave hurtige beregninger på en hurtig computer med en langsom algoritme,« siger Kasper Green Larsen.

Algoritmer er ikke bare algoritmer

En algoritme er meget simpelt en opskrift på at løse et problem. En algoritme kan være opskriften på noget så simpelt som at lægge to store tal sammen. Så plusser man ét ciffer med et andet ciffer, har noget i mente, lægger det til lidt senere og så fremdeles. Til sidst kommer man frem til resultatet. Måden, hvorpå man kommer frem til resultatet, er en algoritme – altså opskriften. Det samme gælder, hvis man vil gange to tal med hinanden. Der skal man bruge en anden algoritme.

På samme måde findes der algoritmer, som kan filtrere i store mængder data. For eksempel kan man forestille sig en algoritme, som er i stand til at finde en person i telefonbogen. Lad os sige, at den person hedder Peter Hansen.

To forskellige søgealgoritmer



Bog med 1.000 sider

Figuren viser forskellen på effektiviteten af to forskellige søgealgoritmer, lineær og binær søgning, hvis man vil lede efter et bestemt ord i en bog på 1000 sider, hvor ordene står i alfabetisk rækkefølge.

Lineær søgning

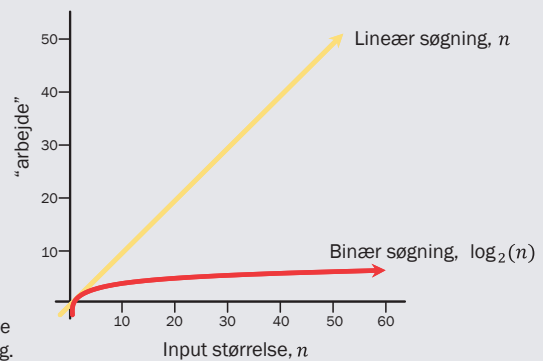


Vi udelukker 1 side ad gangen → 1.000 opslag
 Antal opslag hvis n sider → n

Binær søgning



Vi udelukker halvdelen af siderne hver gang.
 1.000, 500, ..., 4, 2, 1 sider tilbage → 10 opslag
 Antal opslag hvis n sider → maksimalt $\log_2(n)$



Grafen viser, at der er meget stor forskel på n og $\log_2(n)$, når n bliver stor – binær søgning er med andre ord meget mere effektiv end lineær søgning.

Programmører kan så lave en algoritme, som kigger hele telefonbogen igennem, indtil den har fundet et navn, som matcher alle bogstaverne i P-E-T-E-R-H-A-N-S-E-N. Simpelt!

Det med at søge efter Peter Hansen i ordbogen illustrerer også meget godt, at algoritmer kan være mere eller mindre effektive og dermed også langsomme eller hurtige. Én algoritme kan som eksempel begynde fra A og ellers bare fortsætte gennem telefonbogen, indtil den støder på Peter Hansen.

En anden mulighed er at lave en algoritme, der starter med at slå op i midten af telefonbogen. Her kan algoritmen ud fra den alfabetiske rækkefølge så afgøre, om Peter

Hansen er længere fremme i telefonbogen eller længere bagud. På den måde kan algoritmen med det samme udelukke, at Peter Hansen står på halvdelen af siderne i telefonbogen, og at den derfor ikke behøver at lede efter ham der. Derefter gør den det samme igen og igen, indtil den til sidst har fundet frem til den person, som den gerne vil finde. Det går også meget hurtigere end at skulle hele vejen gennem telefonbogen fra den ene ende til den anden.

»Derved kan den ene algoritme være hurtigere end den anden i forhold til at løse opgaven, der her drejer sig om at søge i data, som står i alfabetisk rækkefølge. Taler vi om en algoritme, der som ek-

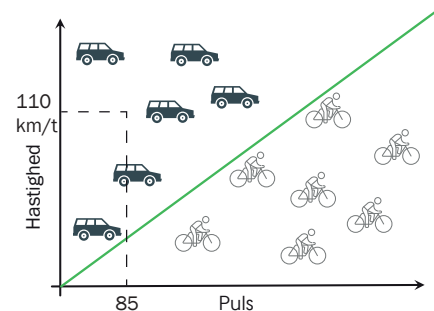
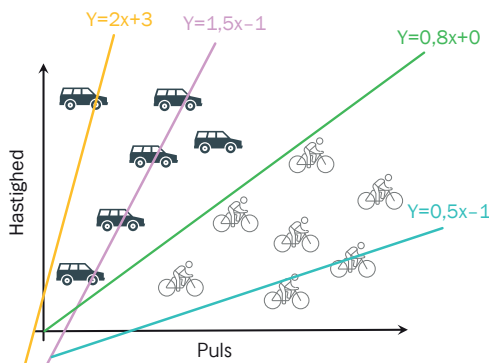
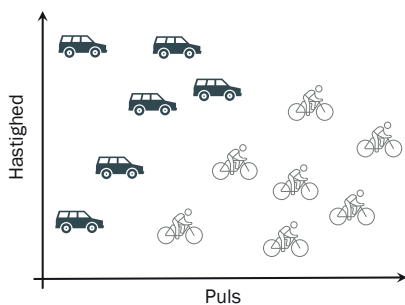
Input: Data med sammenhørende værdier for puls og hastighed fra personer der enten har kørt i bil eller på cykel.

Computeren finder den bedste skellelinje ved, at en algoritme afprøver en masse forskellige værdier af a og b i ligningen $y=ax+b$



Puls: 85
Hastighed: 110 km/t

eller ?



Eksempel på machine learning, som træner en algoritme til at afgøre, om man cykler eller kører i bil ud fra en måling af puls og den hastighed, man bevæger sig med.

Machine learning løser fremtidens problemer

Machine learning er sat på opgaven at løse nogle af de problemer, som forskellige dele af samfundet står over for nu og i fremtiden.

Et eksempel er selvkørende biler. Før bilerne kan slippes løs på veje, er det dog nødvendigt, at vi kan være sikre på, at de algoritmer, der styrer bilerne gennem trafikken, træffer de rigtige beslutninger undervejs – hver eneste gang. Drejer det sig om at køre ligeud ad en motorvej med velafmærkede vejstriber, kan det allerede i dag lade sig gøre, men problemet bliver straks større, når det kommer til for eksempel et højresving, og hvor det er vigtigt at kunne aflæse fodgængere og cyklisters intentioner.

Tesla arbejder allerede i dag på at udvikle de algoritmer, der skal gøre selvkørende biler til en naturlighed på alle verdens veje om fem eller ti år. Det gør bilproducenten blandt andet ved at opsamle data fra kameraer rundt om på de mange Teslaer, der kører rundt i blandt andet Danmark. Bilerne optager, hvad der sker i omgivelserne, og hvad chaufførerne gør, og sender data tilbage til store Tesla-ejede datacentre, hvor machine learning gnasker sig igennem den enorme datamængde for at finde ud af, hvad der er det rigtige at gøre i givne situationer, eksempelvis i et kompliceret vejkryds med mange andre trafikanter, fodgængere og cyklister. Jo mere data, Tesla kan indsamle, des bedre bliver de algoritmer, der skal bremse i tide, når en gammel dame ikke får set sig godt nok for, inden hun krydser vejen.

Et andet eksempel på brugen af machine learning er indenfor udvikling af lægemidler. I årtier har forskere forsøgt at finde en model for, hvordan man ud fra et gen kan afgøre, hvordan det protein, som kommer ud af genet, ser ud og bliver foldet. Dette problem omkring foldning af proteiner løste Google med en algoritme, der med data på alle kendte proteiner og deres tilhørende gensekvenser lærte, hvordan den kan forudsige proteinstrukturen ud fra en gensekvens. Denne viden kan blandt andet benyttes indenfor lægemiddeludvikling, hvor man nu meget præcist kan forudsige, hvordan en DNA-sekvens skal se ud for at få et protein med givne medicinske egenskaber.

sempel skal finde en hjemmeside indenfor et splitsekund, er det helt afgørende, at den ikke skal gennemgå alle eksisterende hjemmesider fra en ende af, for det vil simpelthen tage alt for lang tid,« forklarer Kasper Green Larsen.

Machine learning har bragt algoritmer til næste niveau

Over hele verden arbejder forskere og programmører på at udvikle hurtigere algoritmer, der kan løse nogle af de opgaver, som vi som samfund står overfor, hurtigere og mere præcist. Det er dog i mange tilfælde ikke længere nok, at forskere og programmører selv tænker kloge tanker om, hvad algoritmerne skal gøre. Vi er kommet dertil i algoritmernes udvikling, at vi bliver nødt til at bede dem om selv at tænke nogle af de kloge tanker for os. Vi taler i den sammenhæng om machine learning eller kunstig intelligens.

Ved machine learning fodrer vi algoritmer med datasæt, som algoritmerne kan lære ud fra og benytte til at finjustere præcisionen i deres forudsigelser. Man kan betragte det som algoritmer, der selv producerer algoritmer.

Forestil dig som eksempel en simpel algoritme, der skal kunne afgøre, om en person cykler eller kører i bil gennem byen. Algoritmen har nogle få data til rådighed, herunder hastighed og puls.

Når det gælder bykørsel, kan man forestille sig, at det ikke alene ud fra hastigheden

er muligt at sige, om en person kører i bil eller på cykel, men kobler man det til personens puls, vil det intuitivt give mening, at hurtig kørsel og høj puls indikerer, at man kører på cykel, mens hurtig kørsel og lav puls peger på, at man sidder i en bil.

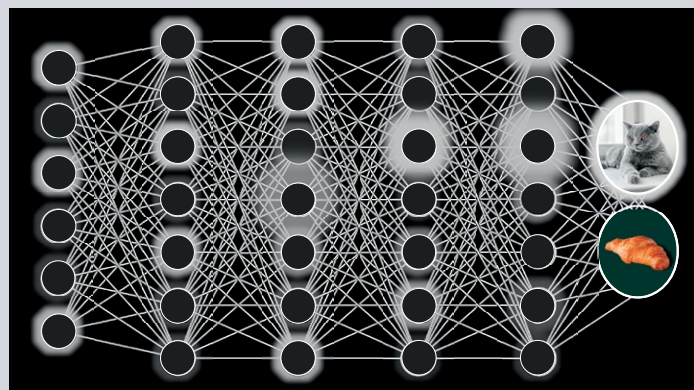
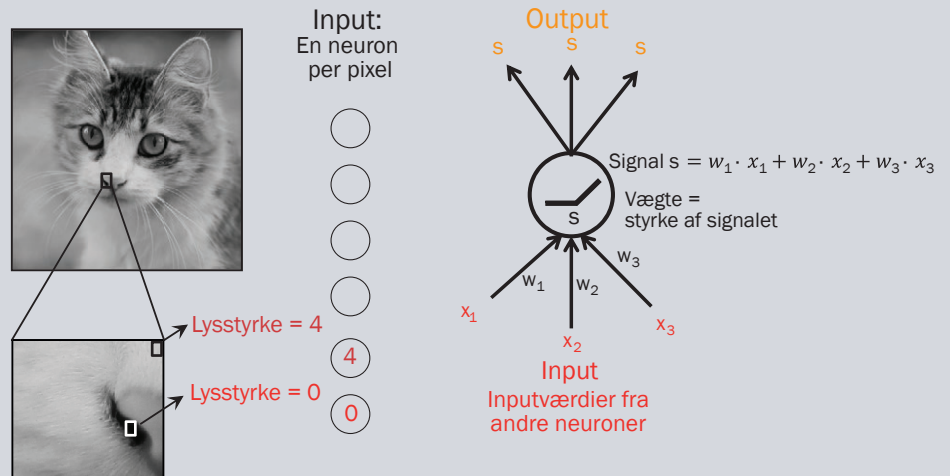
Tanken er så den, at man præsenterer en algoritme for tusindvis af data fra personer, der er cyklet eller har kørt i bil gennem byen. Disse data kan komme fra et smartwatch, og algoritmen får også at vide, hvordan personen har bevæget sig frem i trafikken. En simpel machine learning-algoritme kan så plotte data i et koordinatsystem, hvor hastighed og puls går ud af hver deres akse. Det vil lede til en masse prikker i koordinatsystemet, og disse prikker vil formentlig gruppere sig i to område, der modsvarer det at køre på cykel eller i bil. Her er det så op til en programmør eller algoritmen selv at trække en linje gennem koordinatsystemet, hvor alt på den ene side af linjen svarer til at køre på cykel, mens alt på den anden side af linjen svarer til at køre i bil. Næste gang en person kører gennem byen, og algoritmen bliver præsenteret for puls og hastighed, kan den hurtigt se, om prikken i koordinatsystemet falder på den ene eller anden side af linjen. Den har kigget på data, og den har lært sig selv, hvad der svarer til det ene eller andet.

»Man skal bruge en masse data på at lære algoritmen at lave denne linje og endnu mere data på at lære den at finjustere linjen. I gamle dage satte programmøren selv linjen, men med machine learning bliver det meget mere præcist, og algoritmen kan også finde mønstre i data, som det er umuligt for mennesker at overskue,« siger Kasper Green Larsen.

Kræver mere strøm end Manhattan i en uge

Går vi et skridt op i kompleksitet, kræver billedgenkendelse meget mere databehandling end eksemplet med de to datapunkter for en tur gennem byen. Nogle af de store teknologigiganter udviklede som noget af det første en algoritme, der kan genkende katte på billeder. Algoritmen har 100 milliarder vægte (se boks), den kan skrue på (modsat de 2 for linjen, hvor det kun var

Billedgenkendelse og neurale netværk



Fundamentet i billedgenkendelse er neurale netværk, der efterligner den måde, hjerne-celler (neuroner) er forbundet på i hjernen. Neuronerne i netværket er organiseret i forskellige lag illustreret ved de lodrette søjler. Den information, man starter med i det første lag, vil således blot være værdier for lystyrken af en given pixel i billedet. De enkelte neuroner er forbundet til andre neuroner i de nærliggende lag, således at en neuron får input fra de andre neuroner og sender et signal videre. En matematisk model for en neuron afgør så styrken af det signal, der sendes videre. Ligesom i hjernen kan forbindelsen mellem to neuroner være svag eller stærk (udtrykt ved forskellige vægte "w1-w3"). Og når netværket trænes, går det altså ud på at justere vægtene mellem forbindelserne, således at man får resultatet "kat", når det faktisk er et billede af en kat, man bruger som input.

a og b), for at lære, hvad der kendetegner datamønstret i et billede af en kat, og hvad der kendetegner datamønstret i et billede af noget andet, for eksempel en hund.

Algoritmen bliver som i tilfældet med cyklisterne og bilisterne præsenteret for måske 10 millioner billeder af katte, og når den så har brugt den enorme mængde data til med stor præcision at kunne udpege en kat på et billede, kan den gøre det ud fra helt nye billeder, som den ikke har set før. Her opstår der så også et problem, som alle forskere og udviklere inden

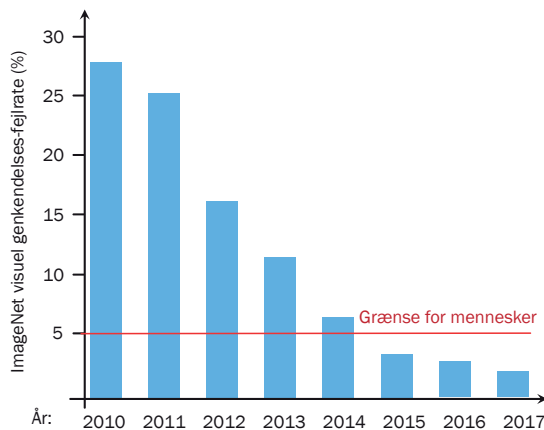
for feltet netop nu forsøger at gøre noget ved.

Skal machine learning lære ud fra to datapunkter, puls og hastighed, skal den ikke bruge mere computerkraft, end hvad der er i en Nokia 3310. Når datasættene til gengæld bliver i milliard-størrelsen med tilsvarende 100 milliarder parametre, kommer træningen af modellen til at kræve enorme mængder beregningskraft. Det kræver foruden enormt kraftige computere også elektricitet, der ved træningen af de mest komplekse modeller kommer op i priser i milliardstørrelsen i elforbrug.

Forsker i selv at gøre algoritmer bedre

Kasper Green Larsens egen forskning går ud på at gøre algoritmer bedre med færre data. En af de mest berømte algoritmer indenfor området hedder Adaboost, der kan forbedre svage machine learning-algoritmer. Adaboost fungerer på den måde, at man lægger den oven i en algoritme, der måske ikke er så god, som man kunne ønske.

Forestil dig en algoritme, som skal genkende en kat på et billede, men kun rammer rigtigt i lidt over 50 % af tilfældene. Adaboost fungerer ved at øge prioriteten af de data, som algoritmen lavede fejl på under træningen, og så køre træningen af algoritmen igen. Det bliver man så ved med, indtil man har trænet modellen en hel masse gange med forskellige udfald. Når algoritmen så tages i brug, laver den en demokratisk afstemning mellem alle udfaldene af de mange træninger og benytter så det, som de fleste peger på. Er det en kat, eller er det ikke en kat? Matematiske beregninger har vist, at denne metode kan gøre selv dårlige algoritmer ret præcise og kan gøre algoritmer på baggrund af få data lige så stærke som algoritmer på baggrund af mange data.



ImageNet er en samling på en million – forholdsvis stiliserede – billeder, som man bruger til at teste forskellige algoritmer til billedgenkendelse. Grafen viser, at allerede tilbage i 2015 var algoritmerne så gode, at de laver færre fejl end mennesker, når de skal vurdere, hvad der er på billederne i denne samling.

»Derfor er det også kun de store spillere som Google og Facebook, der laver og bruger disse avancerede modeller for machine learning. Samtidig bliver det ikke bedre i fremtiden, hvor modellerne formentlig bliver mere komplekse og skal lære ud fra endnu flere data. Nogle beregninger har vist, at hvis vi fortsætter udviklingen, vil det om ti år kræve den samme mængde strøm at træne én model, som man bruger på hele Manhattan i New York på en uge. Vi taler om en eksplosion i udgifter, jo mere præcise man vil have sine modeller, og jo mere de skal kunne,« fortæller Kasper Green Larsen.

Machine learning skal gøres smartere

Målet med forskningen og udviklingen af algoritmer er på den måde ikke blot et spørgsmål om at gøre dem mere komplekse, men også at gøre træningen af dem hurtigere – og dermed billigere.

Problemet er i den sammenhæng, at træningen af modellerne næsten ikke har udviklet sig de seneste 30 år. Fra 1990'erne og frem til i dag er det den samme datalogiske tilgang, der i 2012 for første gang gjorde machine learning mere effektivt til at genkende billeder, end hvad en programmør kunne kode ind i en algoritme. Det er de samme

grundlæggende regler for læring.

Den begrænsende faktor var indtil 2012, at computerne var for langsomme, men da blev hardwaren endelig kraftig nok til, at man kunne træne på en tilpas stor mængde billeder.

»Det var altså ren hardware-innovation på det tidspunkt. Siden da har algoritmerne stadig ikke ændret sig ret meget, man har bare skiftet hardwaren ud med mere moderne hardware, som har tilladt at træne på mere data og bruge flere parametre. I princippet kunne man godt fortsætte på den måde, men så bliver omkostningerne i form af strømforbrug så store, at det ikke giver mening. Derfor er den eneste reelle mulighed for forbedringer at finde på bedre algoritmer. Bedre algoritmer gør træningen hurtigere og sparer på den måde både strøm og tid,« forklarer Kasper Green Larsen.

Han fortæller, at der er behov for at udvikle nye metoder til at træne algoritmerne. En mulighed er blandt andet at udvikle algoritmer, som ikke kræver så store datasæt at træne på, men som samtidig kommer med de samme præcise forudsigelser.

En anden mulighed er at komprimere data, hvilket er noget af det, som Kasper Green Larsen blandt andet selv arbejder med.

»Ved eksempelvis billedgenkendelse er det måske ikke nødvendigt med alle data i alle pixels for at kunne genkende, hvad der er på billedet. Drejer det sig om en mand i en blå skjorte, skal vi lære algoritmen, at den ikke behøver at tage alle de blå pixels med i beskrivelsen af hele billedet. Man skal finde ud af, hvor få parametre man skal bruge for at kunne beskrive den enkelte pixel og det enkelte punkt på billedet. Den slags fremskridt er nødvendige for at bringe kravene til algoritmerne ned, så de kan udvikles mod fremtiden uden at blive for omkostningstunge,« siger Kasper Green Larsen. ■

17. februar –
19. marts 2023



HOTEL PRO FORMA ELEKTRICITET

Gennem 1800-tallet
Et ladet århundrede

Billedkunst
Performance
Videnskab
Musik
20 medvirkende

Udstilling - Forestilling

SMK 



Statens Museum for Kunst
National Gallery of Denmark

Google CEO Sundar Pichai og Google AI Quantum arbejder i deres kvantecomputerlaboratorie i Santa Barbara, Californien. Foto: Google



FRA KVANTEFYSIK TIL KVANTECOMPUTERE

Kvantefysikken er svær at blive klog på i den forstand, at fysikerne ikke er enige om, hvordan man egentlig skal fortolke de grundlæggende ligninger. Til gengæld er der ingen tvivl om, at kvantefysikken "virker", hvilket forskerne blandt andet prøver at udnytte til at bygge kvantecomputere.

Af Henrik Bendix, videnskabsjournalist. Vidmere.dk

Om forskeren:



Klaus Mølmer er professor i kvantefysik. Han har i 35 år haft sin gang på Aarhus Universitet, men er for ganske nylig tiltrådt en stilling som professor ved Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet. Her skal han fortsat forske i kvantefysik, kvantecomputere samt præcisionsmålinger og kvantespring. klaus.molmer@nbi.ku.dk

Klaus Mølmer er lidt af en manipulator. I årtier har han arbejdet med at finde ud af, hvordan man bedst manipulerer med atomer og lys, så de opfører sig præcis, som han ønsker. Det endelige mål er en kvantecomputer, der kan udføre visse former for beregninger langt hurtigere, end det er muligt med nutidens computere.

Som professor i teoretisk fysik på Niels Bohr Institutet ved Københavns Universitet går han i fodsporene på den mand, instituttet er opkaldt efter. I år fejres hundredåret for Niels Bohrs modtagelse af Nobelprisen i fysik, som han fik for at forklare vekselvirkningen mellem atomer og lys. Klaus Mølmers

speciale er kvanteoptik, som nu går et skridt videre og forsøger at styre denne vekselvirkning præcist.

»Jeg prøver at få de mindste byggesten til at spille sammen og afsøge grænserne for, hvad vi kan gøre i laboratoriet med atomer og lys,« fortæller Klaus Mølmer og fortsætter:

»Vi kan bruge lys til at få atomer til at bevæge sig rundt i de tilstande, vi har lyst til at studere. Vi kan selv bestemme, om et enkelt atom skal hoppe op eller ned i energiniveau. Omvendt kan vi også få atomerne til at udsende lys, når vi vil, og i den retning, vi ønsker det. Vi kan desuden bruge lys til at måle meget præcise egenskaber ved atomerne.«

»Hvis atomer for eksempel er påvirket af et magnetfelt, kan vi måle det i lyset fra dem, og på den måde bliver atomerne meget følsomme måleapparater. Man kan for eksempel måle magnetfelter fra hjerteslag eller strømme i nervedbaner i hjernen hos en patient med en lille gas af atomer placeret uden for patienten.«

»I det lidt længere perspektiv kan vi bruge vekselvirkningerne mellem lys og atomer til databehandling, hvor data bliver opbevaret i atomerne og bliver sendt som lys. Så kan vi lave et internet, hvor vores data er kvantemekaniske og baseret på mikroskopiske partikler, der kan være både det ene og det andet sted på samme tid. Og vi kan bruge

Lejrbålmysteriet:

Kolde gløder: rødglødende lys
Varme gløder: hvidglødende lys

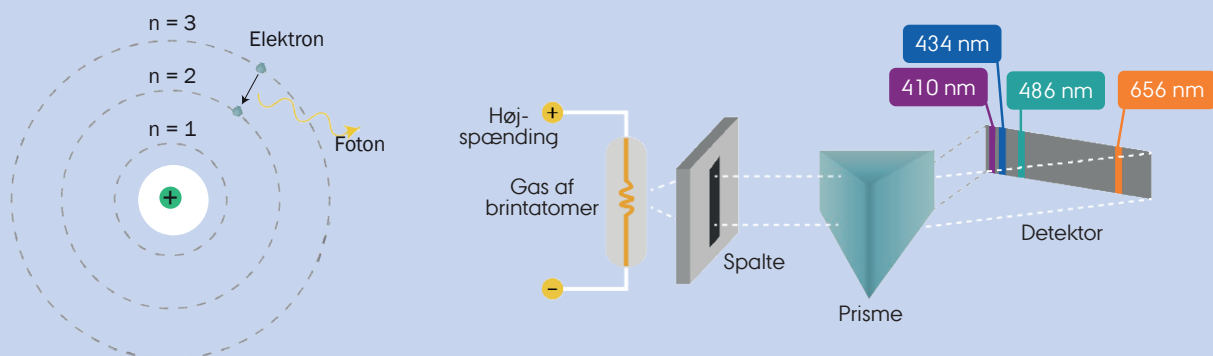


Lyset udsendes i kvanter,
 $E = h \cdot f$
Lav frekvens f (rød) \rightarrow lav energi
Høj frekvens f (gul) \rightarrow høj energi



Foto: Colourbox

Klassisk fysik tilbyder ikke nogen god forklaring på den simple observation, at ilden i et bål har forskellige farver afhængig af temperaturen. Forklaringen er, at lyset udsendes i kvanter. Energien for en foton (lyspartikel) er altid givet ved $E = h \cdot f$, hvor h er Plancks konstant med en ganske lille værdi på $6,626 \cdot 10^{-34}$ J·s, og f er strålingens frekvens. Høj temperatur forbindes med høj energi, og derfor de blålige dele af farvespektret med høje frekvenser. Klassisk fysik kunne heller ikke forklare, hvorfor nogle stoffer kun udsender lys med helt bestemte farver (frekvenser).



Bohrs atommodel giver en forklaring på, hvad der foregår. Bohr antog, at elektronen kun kan befinde sig i ganske bestemte, stabile baner, og at der udsendes eller absorberes et lyskvant, når elektronen hopper imellem banerne. Lysets energi og dermed frekvens er givet af energiforskellen mellem de baner, som elektronerne springer imellem: $E_2 - E_1 = h \cdot f$. Med modellen kunne Bohr endda opnå en meget præcis formel for de tilladte baneenergier, der forklarer spektret fra hydrogen, altså frekvenserne af det lys, som hydrogen udsender.

de kvantemekaniske egenskaber som en varvittig ressource i en kvantecomputer.«

Atommodel gav Nobelpris for 100 år siden

I 1801 havde den engelske fysiker Thomas Young slået fast, at lys har bølgeegenskaber, men cirka 100 år senere fandt Max Planck og Albert Einstein ud af, at lys udsendes i små, diskrete pakker – lyskvanter – der nu kaldes fotoner. Specielt ved sin forklaring på den fotoelektriske effekt viste Einstein, at lys ikke kun kan forstås som bølger, men også har partikelegenskaber.

Samtidig kunne fysikerne måle, hvordan forskellige grundstoffer

udsender lys med forskellige, karakteristiske bølgelængder. De spektroskopiske analyser gjorde det muligt at identificere eksisterende grundstoffer og finde helt nye, men før Bohr havde ingen været i stand til at forklare, hvorfor atomerne absorberer og udsender lys ved ganske bestemte bølgelængder.

Med sin revolutionerende atommodel fra 1913 sikrede Niels Bohr sig både en plads i historiebøgerne og en Nobelpris i 1922. Hans store bedrift var at kombinere sin viden om det kvantificerede lys med en model af brintatomet, hvor en tung, positivt ladet kerne omkredses af en negativt ladet elektron.

Bølgefunktionen er svær at blive klog på

Atommodellen blev en succes, fordi den både kunne forklare brintatoms stabilitet og spektrum, men den har sine begrænsninger, idet den kun giver rigtige resultater for atomer med en enkelt elektron. Allerede for helium med to elektroner begynder det at knibe med at få de korrekte energier for kvantespringene, hvis man holder sig til Bohrs simple model.

Først i 1920'erne, hvor senere nobelprismodtagere som Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, Max Born og Paul Dirac udviklede den moderne kvantemekanik, faldt brikkerne på plads. Særlig vigtig blev Schrödingers bølgeligning, der

Bølgefunktionen

En bølge har forskellig højde forskellige steder og til forskellige tider og beskrives som en matematisk funktion af tiden, t , og stedets r -vektor. Schrödingers ligning beskriver en sådan bølgefunktion $\psi(r,t)$ og angiver dens ændring per tid (symbolet indrammet i gult) ved virkningen af nogle stedafhængige matematiske operationer på funktionen selv (indrammet i gråt). Kender man startværdien, kan man beregne funktionens form til senere tider.

Der findes tilsvarende bølgeligninger, hvor funktionen Ψ beskriver højden af en vandoverflade, lufttrykket i en lydølge eller et elektrisk felt

Schrödingers bølgeligning

$$i\hbar \frac{d}{dt} \psi(\vec{r}, t) = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V(\vec{r}) \right] \psi(\vec{r}, t)$$

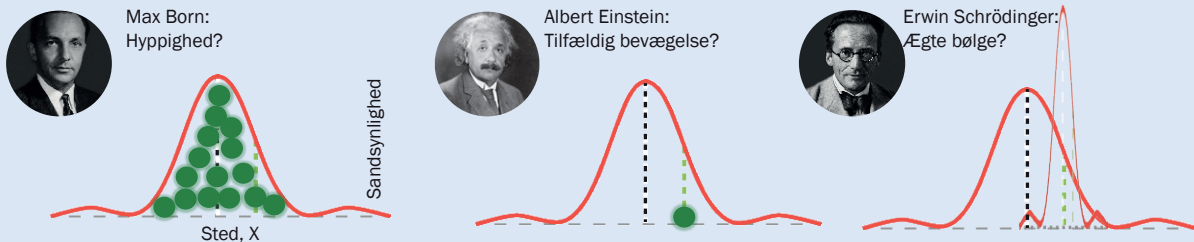
ψ_s spænding per tid, t

Ψ (græsk: "psi") kaldes bølgefunktionen

i en radiobølge, men da Schrödinger lavede bølgeligningen var det uden nogen ide om, hvad det er, der faktisk "bølger". Den tyske fysiker Max Born viste, at der er overensstemmelse mellem bølgefunktionens værdi og hyppigheden af, hvor ofte man måler partiklen

forskellige steder. Men om det betyder, at teorien i virkeligheden kun virker for fordelinger af mange partikler, om den er en partikel, hvis position vi ikke kender, eller om partiklen faktisk er en udbredt bølge indtil den måles, kunne (og kan) fysikere ikke blive enige om.

Bølgefunktionens fortolkning



beskriver, hvordan kvantemekaniske systemer udvikler sig over tid.

Schrödingers udgangspunkt var, at elektronerne ikke bevæger sig i baner om atomkernen som planeter rundt om en stjerne, men nærmere skal forstås som en form for bølger. Med Schrödinger-ligningen blev det muligt at regne på de processer, der foregår i den mikroskopiske verden.

Løsningerne til ligningen er bølger, og sandsynligheden for et resultat af en kvantemekanisk måling er givet ved bølgefunktionens talværdi. Hvis man for eksempel kender de kræfter, som en elektron påvirkes af, kan man bruge Schrödinger-ligningen til at udregne sandsynligheden for, at elektronen findes et bestemt sted, når man måler efter.

Bølgeligningen har vist sig ekstremt

nyttig til beregninger, der involverer stoffets mindstedele, men den udstiller også forskellen på klassisk fysik og kvantefysik, fortæller Klaus Mølmer:

»Vi har en meget velbegrunder tillid til en bestemt, formel beskrivelse af naturen. Men vi er ikke helt enige om, hvad formlerne betyder. Vi er enige om, at eksperimenterne bekræfter formlerne, men vi ved ikke rigtig, hvad der foregår i den mikroskopiske verden.«

»Hvis jeg i klassisk fysik har en formel for en partikels bevægelse, så kan jeg regne med, at partiklen er der, hvor formlen forudsiger. Men i kvantefysikken taler vi om et objekt, vi kalder en bølgefunktion, som ikke har nogen direkte fysisk betydning. Man kan ikke se bølgefunktionen, og man kan spørge

sig selv, om der overhovedet er noget, der bølger, og hvad det i så fald skulle være. Det er en virkelig spændende og svær diskussion, hvor Bohr og Einstein aldrig kunne blive enige.«

En kvantebit kan være 0 og 1 samtidig

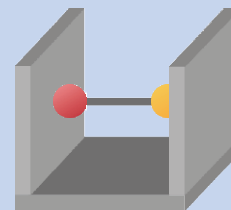
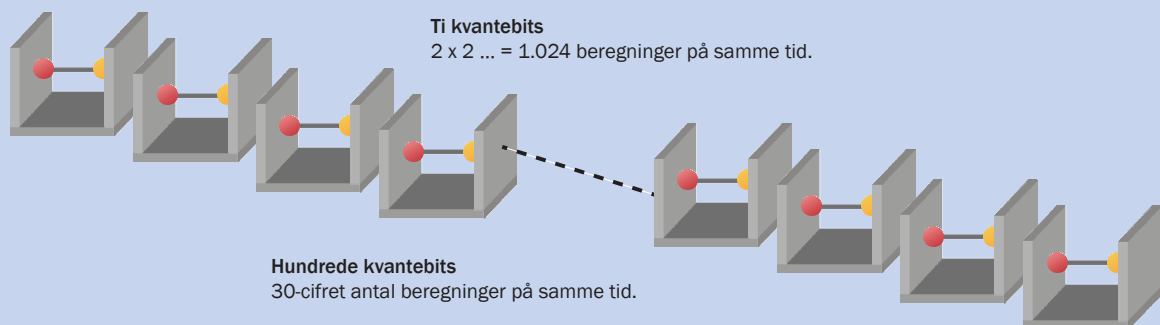
Kvantefysikkens love kan virke kontraintuitive, for bølge-partikel-dualiteten betyder, at så længe man ikke foretager en måling, kan en partikel tilsyneladende være to steder eller i to forskellige tilstande (eksempelvis have to forskellige energiniveauer) samtidig. Og flere partikler kan bringes i en samlet, kvantemekanisk tilstand, så en måling på én af partiklerne øjeblikkeligt påvirker alle partiklernes tilstand, uanset afstanden mellem dem – hvad Einstein kaldte en spøgelsesagtig fjernvirkning.

Superposition gør kvantecomputeren suveræn

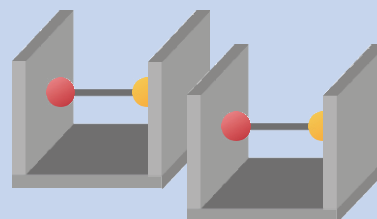
Almindelige computere er baseret på fundamentale informationsenheder kaldet bits, og hver bit kan have værdien 1 eller 0. I en kvantecomputer er information derimod indkodet i kvantebits, forkortet qubits, der udover at have værdien 1 eller 0 også kan være i en superposition af de to værdier, altså være 0 og 1 samtidig.

Superposition er et kvantemekanisk fænomen, der kan gøre en kvantecomputer ekstremt kraftfuld. Hvis det ved hjælp af kvantegates kan lade sig gøre at manipulere med de enkelte qubits, så er vejen banet for en brugbar kvantecomputer, der kan regne på mange tal samtidig. Magien opstår, når flere qubits arbejder sammen og alle kan være 0 og 1 på samme tid. To qubits kan repræsentere fire forskellige tal samtidig, tre giver otte mulige tilstande og så fremledes – et system med 1.000 qubits kan være i en tilstand, der repræsenterer 2^{1000} værdier samtidig, og det er et astronomisk højt tal.

Så bliver det muligt at afsøge et udfaldsrum og finde den rigtige løsning på et problem langt hurtigere, end det kan lade sig gøre med en traditionel computer. I stedet for at prøve sig frem fra en ende af, kan en kvantecomputer så at sige tjekke alle mulige løsninger samtidig, og det gør den uhyre effektiv til visse klasser af matematiske problemer.



En kvantebit: 0 og 1
To værdier/regnestykker på samme tid.



To kvantebits: 00 og 01 og 10 og 11
 $2 \times 2 = 4$ værdier på samme tid.

»Vi har en fantastisk teori, men den rummer elementer, der er så besynderlige, at Einstein ikke kunne acceptere dem. Måske er det derfor, at det først er nu, vi rigtig forsøger at beherske den verden,« siger Klaus Mølmer.

»Det ser ud som om, at partikler kan være flere steder på én gang, og uanset hvad det udsagn præcis betyder, er det interessant, hvis sådan nogle partikler repræsenterer dataværdier. Så har vi en verden, hvor data kan have flere talværdier på samme tid. Når man så regner på dem, så regner man på flere tal på samme tid – man regner parallelt.«

I en kvantecomputer kan alle bits både være 0 og 1 på samme tid, og med sammenfiltrede kvantebits kan man regne på mange tal på én

gang. Det betyder, at en kvantecomputer kan løse visse former for matematiske problemer ekstremt hurtigt – og meget hurtigere end almindelige computere.

Allerede i starten af 1980'erne indså fysikeren Richard Feynman, at det er nødvendigt med en kvantecomputer, hvis man vil simulere naturen, som jo adlyder kvantemekanikkens love. I årtiet efter begyndte matematikere og dataloger at finde måder, hvorpå man kan løse interessante matematikproblemer uhyre effektivt, hvis man har en kvantecomputer til rådighed, og med fremkomsten af disse kvantialgoritmer steg interessen for at bygge kvantecomputere.

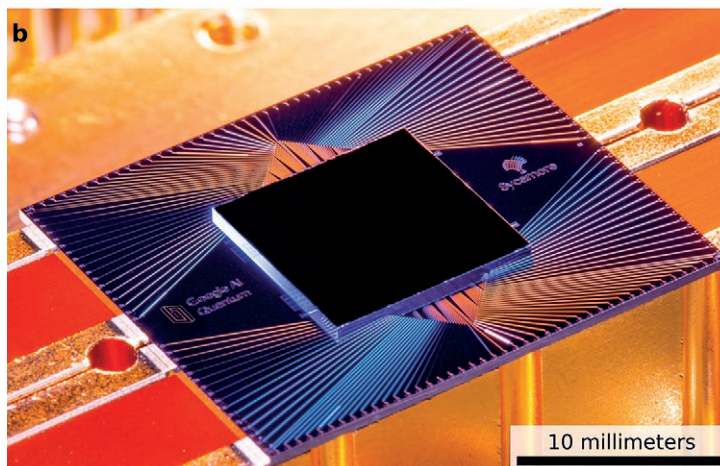
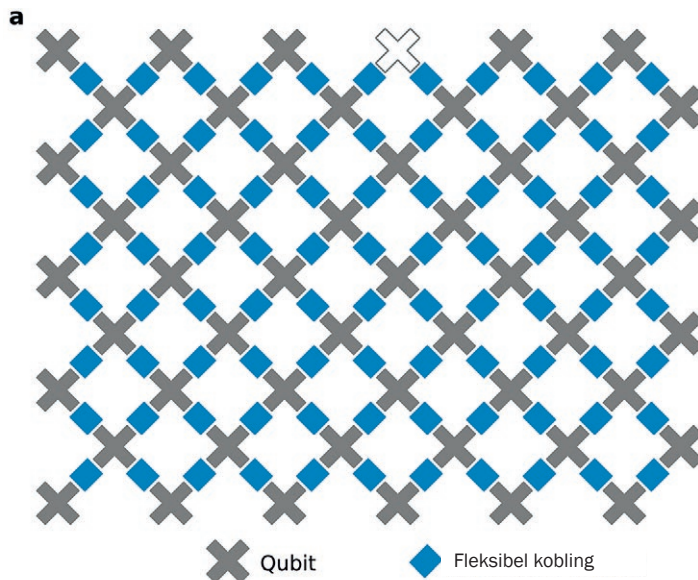
I dag har snesevis af forskningsinstitutioner og private firmaer kastet sig over udviklingen af brugba-

re kvantecomputere. De store, amerikanske IT-firmaer IBM og Google lader til at have taget teten i øjeblikket, men Intel, Microsoft og kinesiske konkurrenter er lige i hælene, og en række mindre startups er også godt med.

Via Amazons cloud-platform kan man i dag købe sig adgang til fem forskellige kvantecomputere baseret på fire forskellige teknologier, så der er ikke længere tale om, at kvantecomputeren er på vej – den er her allerede.

Selv uperfekte kvantecomputere kan bruges

Problemet er så, at nutidens kvantecomputere ikke kan bruges til så meget. De er stadig på forsøgsstadiet og anvendes mest til at få en føling med teknologien og til undervisning – også på Niels Bohr Insti-



Sycamore-processoren. a, Layoutet af processoren, et rektangulær opstilling af 54 qubits (grå), alle er forbundet med de fire nærmeste naboer med koblinger (blå). Den ikke-funktionelle qubit er vist med sort streg. b, Foto af Sycamore-chippen.

tutet. Antallet af kvantebits i nogle kvantecomputere har rundet 100 og endda 1000, men kvantecomputerne er ikke fejlfri, og der skal flere kvantebits til, før det virkelig rykker.

Større og fejlfri kvantecomputere kan finde løsninger på problemer, som vi ikke kommer i nærheden af at løse i dag. Det er absolut ikke alting, de kan bruges til, men de kan være suveræne, når der er ekstremt mange mulige løsninger til et problem, men kun én af løsningerne er rigtig eller bedre end de andre.

Hvor almindelige computere må afprøve de mulige løsninger på hårde, matematiske problemer en efter en, kan en kvantecomputer nemlig

afsøge mange løsningsmuligheder samtidig. Derfor vil en kvantecomputer være ekstremt hurtig til databaseopslag, og den vil også kunne bryde mange af de koder, der i dag bruges til at holde beskeder hemmelige.

Og ikke mindst er det håbet, at den vil kunne simulere kvantemekaniske systemer, og at beregninger fra en kvantecomputer kan hjælpe forskerne med at udvikle ny medicin, mere effektive solceller, bedre batterier og nye metoder til at omdanne CO₂ til brændstoffer og nyttige kemikalier.

Men det kræver altså, at kvantecomputerne bliver større og mere præcise, og her er problemet,

at det ikke er nemt at bevare de ønskede kvantetilstande længe nok til, at beregningerne kan nå at blive udført. Kvantetilstandene er skrøbelige, og sammen med ingeniørerne arbejder fysikerne hårdt på at gøre dem mere robuste, så der sker færre fejl.

Samtidig forskes der i fejlrettede koder, så kvantecomputerne kan tåle, at der ind imellem sker fejl, men det kræver et stort antal ekstra regneoperationer og dermed mange flere kvantebits. En stor, universel kvantecomputer, der kan udføre komplekse kvantemekaniske beregninger ekstremt hurtigt og fejlfrit, ligger stadig et godt stykke ude i fremtiden, men mindre kan måske gøre det.

»Vi har det langsigtede mål at bygge en computer, der regner rigtigt. Men der findes også en række problemer, der er så svære at beregne, at vi kan få et rigtig godt bud fra en kvantecomputer, selv om der sker nogle få fejl,« forklarer Klaus Mølmer.

»Så vi kan ikke garantere, at kvantecomputeren finder frem til den absolut bedste løsning, men vi kan tjekke den i laboratoriet og se, om kvantecomputerens forslag er bedre end det, en klassisk computer kommer frem til. Her kan kvantecomputeren vise sin værdi i praksis. Rigtig mange går efter sådan en NISQ, noisy intermediate-scale quantum computer.«

Som eksempel nævner Klaus Mølmer det klassiske problem, der kaldes "the travelling salesman". Hvis en sælger skal besøge et stort antal byer og kender afstanden mellem byerne, hvilken rute er så den korteste? Det er et matematisk problem, der er uhyre svært at løse på en almindelig computer, og en kvantecomputer klarer det langt hurtigere. Fordi en NISQ ikke er fejlfri, finder den måske ikke den korteste vej, men den næstkorteste eller tredjekorteste, men det kan stadig være ekstremt værdifuldt – ikke kun for handelsrejsende,

men også ved analyser af mønstre i store datamængder, for eksempel fra dna-sekventering og i mange optimeringsproblemer.

Kvanteberegninger kan klares af lys

Kvantecomputere kan bygges på en håndfuld forskellige platforme, og mens IBM og Google satser på superledende kredsløb, der kun fungerer ved temperaturer meget tæt på det absolutte nulpunkt ved minus 273,15 °C, har Klaus Mølmer selv primært arbejdet med kvantecomputere baseret på samspejlet mellem atomer og lys. Sådanne kan fungere ved stuetemperatur.

For fem år vakte han og forskere fra University of Sussex i England opsigt ved at foreslå en kæmpestor ionfældecomputer, der ville fylde 100 x 100 meter, fortæller han:

»Med de seneste fremskridt ved vi nu, at sådan en kvantecomputer kun behøver at være en enkelt kvadratmeter i størrelse. Det bliver stadig en kæmpe udfordring at bygge den, men nu er den meget mere realistisk – den kan være i et laboratorium, og den bruger ikke samme mængde energi som en by som Aarhus. Det er meget spændende.«

data i lyset og så bruge atomerne til at få lyset til at udføre regneoperationerne.«

»Jeg tror, vi kan komme til at se en fordeling frem og tilbage af rollerne for lys og stof, fordi begge systemer kan udgøre databits og har forskellige fordele og ulemper,« fortæller Klaus Mølmer.

“Nature isn't classical, dammit, and if you want to make a simulation of nature, you'd better make it quantum mechanical, and by golly it's a wonderful problem, because it doesn't look so easy.”

Richard Feynman, 1981

Selv er han i øjeblikket mest optaget af at designe komponenter, der kan optimere de mest basale processer i en optisk kvantecomputer, hvor input kodes i lyspulser, der modificeres under selve beregningen, så svaret kan aflæses i lyset, der kommer ud i den anden ende:

»I stedet for at kode data i atomer, der påvirkes af lys, kan man kode

Men hvornår har kvantecomputere så nået en teknologisk modenhed, så de for alvor kan bidrage til at skabe en bedre verden med ny medicin, grønne teknologier og kunstig intelligens? Det har de om 15 år, svarer Klaus Mølmer med et smil på læben. Det sagde han nemlig også for 15 år siden, så det er blevet lidt af en joke. Forskellen fra dengang er, at der er sket betragtelige fremskridt på alle platformene hvert eneste år, så der er al mulig grund til optimisme. Den revolutionerende kvantecomputer er lige om hjørnet. ■

Klaus Mølmer holdt den 4. oktober 2022 foredrag i serien Offentlige foredrag i Naturvidenskaben om "Kvantefysikken – atomernes vilde verden". Denne artikel er lavet i den forbindelse som led i projektet Brobygning på første række, finansieret af Novo Nordisk Fonden.

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

Marisela besøgte Ormstrup Sø i sommeren 2022, hvorefter hun lavede forsøg hjemme på Herningsholm HTX. Foto: Naturvidenskabernes Hus



MARISELA DYKKER NED I SØENS VIRKELIGE PROBLEMER

Marisela Lopes fra Herningsholm HTX har ved siden af undervisningen arbejdet med forskere på et projekt om Ormstrup Sø for at blive klogere på, hvordan en forsker arbejder.

Forfatter



Lotte Frank Andersen er kommunikationskonsulent ved Naturvidenskabernes Hus. lfa@nvhus.dk

Skolebøger og tavleundervisning blev for en stund skiftet ud med gummistøvler, sedimentprøver og måling af drivhusgasser, da 18-årige Marisela Lopes tidligere på året mødtes med forskere fra Aarhus Universitet ved Ormstrup Sø i Midtjylland. Til daglig går Marisela i 3.g på HTX på Herningsholm Erhvervsskole & Gymnasier og har en stor passion for naturvidenskab særligt biologi.

»Jeg er vild med biologi, fordi det ikke er simpelt, og mange faktorer spiller en rolle. Svar åbner op for fle-

re spørgsmål, som skal undersøges og analyseres. Der er ikke altid bare ét facit. Man skal udfordre de svar, man finder, og det kan jeg godt lide,« fortæller Marisela Lopes.

Da hun ikke oplevede den ønskede udfordring i gymnasiet, opfordrede en lærer hende til at melde sig til Københavns Universitets Forskerspirer. Konkurrencen skal vække gymnasieelevers interesse for forskning og består i afleveringen af en synopsis til et potentielt forskningsprojekt. Marisela havde allerede arbejdet med søers udledning af

metan i gymnasiet og besluttede derfor at undersøge det nærmere i sit Forskerspirer-projekt.

Fedt at se teorien virke i praksis

Hun blev inspireret af en teknologi brugt af forskere på DTU til at fjerne fosfor, hvorefter en hypotese udviklede sig: kan mikrobielle brændselsceller bidrage til at reducere metanogenese (udledning af metan). For at lære mere om problemet med metanogenese kontaktede hun blandt andre Martin Søndergaard, som er forsker ved Aarhus

Universitet og en del af forskningsprojektet Bæredygtig Søforvaltning af Ormstrup Sø. Projektet er et samarbejde mellem flere universiteter og støttet af Poul Due Jensens Fond.

»Jeg besøgte dem for at følge, hvordan man arbejder som forsker og biolog. Det var vildt spændende at komme ud i virkeligheden til en helt anden verden og et andet sprog,« siger Marisela Lopes.

Under arbejdet med sin synopsis til Forskerspirer-konkurrencen blev Marisela klogere på, hvordan metan ophober sig i bundvandet under midlertidige temperaturlagdelinger i Ormstrup Sø, og hvordan det bliver frigivet, når søens vand bliver opblandet igen. Arbejdet med en virkelig problemstilling har gjort et stort indtryk på den 18-årige gymnasieelev.

»Teorien i skolen kan virke diffus, så det har været fedt at se, hvordan det virker i praksis. At arbejde som forsker med virkelige problemstillinger er mere detektivarbejde end i gymnasiet. Projektet har styrket mig i at arbejde selvstændigt og løse en åben opgave. Jeg kan lide systematikken i forskningen, og jeg har helt sikkert fået blod på tanden til at gå forskervejen,« siger Marisela Lopes.

Hendes gode oplevelse har også smittet af på hendes klassekammerater, som interesseret har fulgt med i projektet. Flere af dem har været overraskede over, at hun turde kontakte forskere uden for gymnasiet. Ifølge Marisela har flere endda fået mod på selv at gøre det.

Rollemodeller

For Marisela har det haft stor betydning, at hun har haft inspirerende lærere i sit liv. En af dem er hendes tidligere lærer i bioteknologi Michael Buhelt, som gjorde et særligt indtryk på hende.

»Han havde en inspirerende måde at undervise på, og det har haft indflydelse på min måde at arbejde på. Før var jeg en ét-facit-pige, men han



Martin Søndergaard (t.v.) og Thomas Davidson (t.h.) viser Marisela en bundprøve fra søen. Foto: Naturvidenskabernes Hus

Praksisnære undervisningspakker til gymnasier

Naturvidenskabernes Hus står for formidlingen af Ormstrup Sø-projektet og har udviklet tre undervisningspakker til gymnasier i hele landet. Forløbene består af introduktionsfilm med forskerne, problemstillinger, materialebank og live-data fra søen. Alle forløb kan hentes gratis på nvhus.dk.

Forskningsprojektet centreret om Ormstrup Sø

Kan vi genskabe en klar sø fuld af biodiversitet ved at fjerne fosfor og bringe det ud på markerne, hvor det snart kan blive en mangelvare? Det overordnede spørgsmål arbejder flere danske universiteter på at besvare i et tværfagligt forskningsprojekt centreret om Ormstrup Sø i Midtjylland. Projektet er støttet af Poul Due Jensens Fond.

lærte mig, at svar ikke er så simple, og at det er okay, at tingene er komplicerede. Michael var en rollemodel for mig med sin entusiasme og kærlighed til naturvidenskab,« fortæller Marisela.

Når hun bliver spurgt, om hun ser sig selv som en rollemodel, er hun mere tilbageholdende.

»Det er mærkeligt at skulle være rollemodel for andre, men måske er jeg det uden at tænke over det. Jeg tænker, at det er min arbejdsindsats, der kan inspirere andre,« siger hun.

Mariselas arbejdsindsats har vist sig at være særlig god, da hun med sit projekt gik videre i konkurrencen og blev nomineret til Årets Forskerspire 2022. Nu har hun blikket rettet mod afslutningen af gymnasiet i sommeren 2023 og forestiller sig en fremtid med mere forskning.

»Jeg kan godt lide at udfordre mig selv, og jeg bliver aldrig færdig med at lære. Jeg vil gerne arbejde med forskning, og konkurrencen (red. Forskerspirer) har givet mig erfaring og viden, som jeg tager med mig videre,« siger Marisela. ■

Yderligere information:
Undervisningspakker:
[www.nvhus.dk/
undervisning/
tekcases-til-gymnasier/
ormstrup-soe/](http://www.nvhus.dk/undervisning/tekcases-til-gymnasier/ormstrup-soe/)

Artikel om Ormstrup Sø,
Poul Due Jensens Fond:
[www.pdjf.dk/nyhed/
mange-partnere-et-
faelles-maal/](http://www.pdjf.dk/nyhed/mange-partnere-et-faelles-maal/)

Aktuel Naturvidenskab,
blad nr. 4-2022:
[aktuelnaturvidenskab.dk/
find-artikel/nyeste-numre/
4-2022](http://aktuelnaturvidenskab.dk/find-artikel/nyeste-numre/4-2022)

Billedet viser såkaldt titansvamp, som er en porøs form for titan, som dannes i de første stadier af den proces (kaldet Kroll-procesen), der bruges til at udvinde titan fra råmaterialet.

Foto: Shutterstock

TITAN: EN MULIG KEMISK SUPERSTJERNE



**Dansk forsker forsøger at udvikle katalysatorer af titan.
Det vil gøre kemisk produktion af en lang række stoffer billigere,
end det er muligt i dag.**

Indenfor industriel produktion af alle tænkelige kemikalier går én ting igen og igen, og det er brugen af en katalysator.

Katalysatorer er kort sagt forbindelser, der får kemiske processer til at ske hurtigere og billigere, hvilket alt andet lige er to attraktive egenskaber, når man lever af at lave kemi.

Når to kemikalier skal reagere med hinanden og danne et tredje, har de brug for en aktiveringsenergi til at sætte den kemiske proces i gang. Denne energi kan komme fra alt fra kul og naturgas til elektricitet og er ofte et fordyrende trin i industriel produktion af kemikalier. Katalysatorer sænker reaktionsbarrieren og dermed behovet for aktiveringsenergi i en kemisk proces og får på den måde processen til at forløbe hurtigere og billigere.

Traditionelt bliver katalysatorer ofte lavet af dyre ædelmetaller som ruthenium, rhodium, platin eller palladium, som er dyre, fordi de er

sjældne og kun findes i meget små mængder i jordskorpen. Det vil en dansk forsker dog lave om på ved i stedet at lave katalysatorer af titan, hvilket der er mere end rigeligt af overalt i jorden.

Titan er det næstmest forekommende overgangsmetal i jordskorpen. 0,6 procent af jordskorpen består af titan, og kun jern overgår med sine 5,6 procent titan i at være det overgangsmetal, der er mest af. Fordi der er så meget titan i jorden, vil det være et billigt grundstof at lave katalysatorer af, og hvis man samtidig kan fremstille effektive katalysatorer af titan, vil der også være penge at spare på energiforbruget til at drive industrielle kemiske processer.

»Allerede før man begyndte at tænke i klimaforandringer, var kemikere interesserede i at have gode katalysatorer, fordi det koster mange penge at varme kemiske reaktorer op til temperaturer, hvor de kemiske processer kan ske af

sig selv. Men katalysatorer af ædelmetaller er desværre dyre, og derfor kan der være en masse penge at spare, hvis man kan udvikle gode katalysatorer af overgangsmetaller, som der er rigeligt af,« fortæller adjunkt Anders Reinholdt fra Lund Universitet.

Titan skal gøres reaktivt

Nuvel, det er let at have våde drømme om titan som centrum i katalysatorer til alverdens kemi. Den svære del er at udvikle disse katalysatorer.

Udfordringen for titan er, at dette overgangsmetal kun naturligt optræder i sit højeste oxidationstrin, hvor alle atomets elektroner i den yderste elektronskal er væk. Forskere kalder det for Ti^{4+} , når titan mangler fire negativt ladede elektroner, og så er det ikke særligt godt at lave god kemi med. Ti^{4+} er den form, som titan indgår med i for eksempel mineraler og bjergarter, men det kan ikke bruges til meget, da gode katalysatorer skal have

Om forfatteren

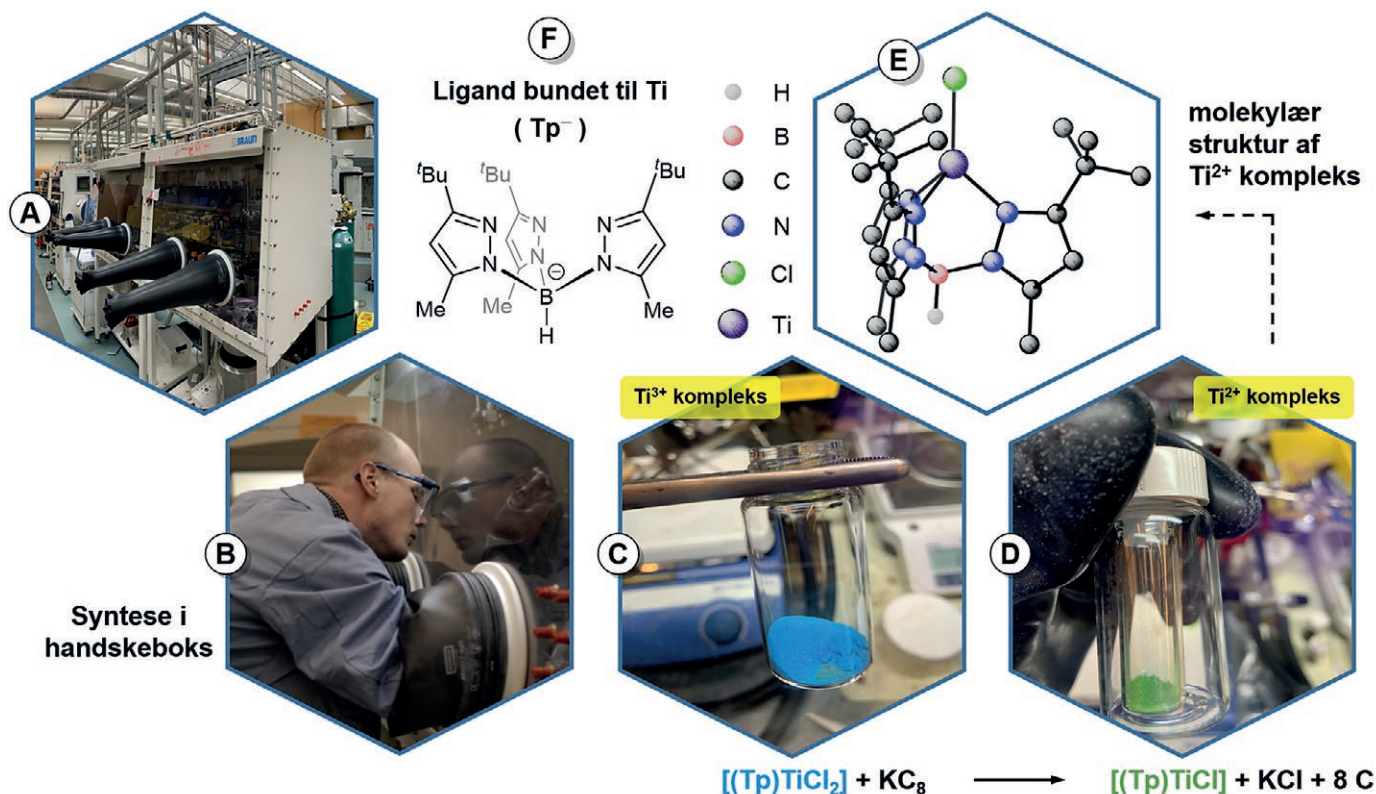
Af Kristian Sjøgren,
videnskabsjournalist.
ksjoegren@gmail.com



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

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

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



Figur 1. Syntese af et tetraedrisk Ti²⁺-kompleks. A) For at undgå nedbrydningsreaktioner med H₂O og O₂ håndteres alle forbindelser af titan i en handskeboks fyldt med ultrarent argon. B) Reaktionsopstillinger opsættes ved hjælp af de indbyggede handsker. C) Det blå Ti³⁺-kompleks. D) Det grønne Ti²⁺-kompleks, som dannes ved reduktion med kaliumgrafit (KC₈). E) Tegning af Ti²⁺-komplekset; for at gøre tegningen mere overskuelig er H-atomer udeladt (på nær det, som er bundet til B-atomet). F) Stregtegning af liganden, som indkapsler titan.

et variabelt antal elektroner i deres yderste atomskaller, så de er i stand til at overføre elektroner til og fra de stoffer, hvis kemiske reaktioner der skal katalyseres.

Anders Reinholdt fortæller, at hele ideen med at bruge overgangsmetaller som katalysatorer er, at de med et variabelt antal elektroner kan gøre andre molekyler mere reaktive. Titan med én elektron i sin yderste elektronskal som Ti³⁺ eller endnu bedre med to elektroner som Ti²⁺ vil give noget spillerum for at agere katalysator for kemiske processer.

»Man kan jo ikke bare hælde en sten ned i en spand med kemikalier og forvente, at den vil være en god katalysator. Man skal skabe betingelserne for, at det vil fungere godt,« siger han.

Titan reagerer ekstremt kraftigt med luft

Selvom endemålet med Anders Reinholdts forskning er at udvikle katalysatorer af titan, er de første skridt på vejen dertil blot at blive klogere på titan som kemisk komponent.

I laboratoriet forsker Anders Reinholdt i, hvad der sker med titan, når han ændrer ved

Om forskeren

Anders Reinholdt begyndte at læse Kemi på Københavns Universitet i 2009 og færdiggjorde sin ph.d. i 2018. I 2019 fik han en bevilling fra blandt andet Danmarks Frie Forskningsfond til at tage til University of Pennsylvania og en stilling som postdoc der. Han flyttede til Danmark igen i januar 2022 til først Danmarks Tekniske Universitet på en bevilling fra Carlsbergfondet, men rykkede kort efter over Øresund og er nu ved Lund Universitet, hvor han er i færd med at opbygge sin egen forskningsgruppe.



Anders Reinholdts forskningsinteresser ligger inden for uorganisk kemi og forståelsen af, hvordan alle grundstoffer i det periodiske system reagerer, og hvilke former for molekyler de kan danne. Han har også en særlig forkærlighed for at forstå grundstoffers egenskaber i forhold til for eksempel lys og magnetisme, hvilke bindinger de kan lave, og hvordan de reagerer i luften. Som han siger, »er det spændende med ting, som ikke kan være stabile, hvis vi har dem i stuen«.

Privat har Anders en kone og to døtre, der har været med hele vejen til Pennsylvania og tilbage igen.

Katalysatorer

En katalysator er kort sagt en forbindelse, der øger hastigheden af en kemisk reaktion uden selv at blive omdannet eller forbrugt undervejs. Formålet med at tilsætte en katalysator til en reaktionsblanding er at få reaktionen til at forløbe via alternative reaktionsveje og med lavere behov for aktiveringsenergi, da katalysatoren sænker reaktionsbarrieren i den kemiske proces.

Inden for katalysatorer skelner man mellem homogen katalyse og heterogen katalyse. Ved homogen katalyse befinder katalysatoren sig på samme form (i samme fase) som de reaktanter, der skal indgå i den kemiske reaktion. Det kan for eksempel være, at både reaktanter og katalysator er på væskeform.

Ved heterogen katalyse optræder katalysatoren på en anden form end reaktanterne. Det kan være, at et fast stof benyttes til at katalysere en kemisk proces mellem to væsker eller to gasser.

I en af de mest kendte katalytiske processer spiller jern en central rolle i omdannelsen af nitrogen og hydrogen til ammoniak. Processen er kendt som Haber-Bosch-processen og kastede i både 1918 og 1931 en Nobelpris i kemi af sig. 454 millioner ton gødning bliver hvert år produceret ved hjælp af Haber-Bosch-processen.

Den danske virksomhed Topsøe A/S udvikler og sælger katalysatorer til fremstilling af en lang række kemikalier. Det estimerede marked for katalysatorer er på over svimlende 200 milliarder kr. om året, og behovet for katalysatorer bliver kun større i fremtiden.

Reaktionskinetik

Reaktionskinetik er den del af kemien, som beskæftiger sig med, hvordan en kemisk reaktion forløber, hvor hurtigt den forløber, og hvilke delreaktioner den består af. De delreaktioner, som har betydning for forståelsen af den samlede kemiske reaktion, kaldes for elementarreaktioner. Elementarreaktionerne er reaktioner, hvor et, to eller flere molekyler kolliderer og danner et produkt gennem en kemisk reaktion.

Kemikere benytter forskellige metoder til at kortlægge elementarreaktionerne i en kemisk proces. Heri er et centralt element at forstå, hvor hurtigt elementarreaktionerne forløber, hvilket er afhængigt af blandt andet temperatur.

I Anders Reinholdts forsøg har han benyttet informationer om koncentrationen af reagenserne som funktion af tid til at bestemme reaktionshastigheden i omdannelsen af azid til et azid-kompleks eller et imid-kompleks. Til det formål benyttede forskeren NMR-spektroskopi, som danner et spektrum over det magnetiske felt omkring atomer. Det vil sige, at spektret for et azid-kompleks ser anderledes ud end spektret for et imid-kompleks.

Ved først at udføre NMR-spektroskopi på rene prøver af imid-komplekset og derefter rene prøver af azid-komplekset kunne forskeren efterfølgende undersøge spektre af reaktionsblandingen til forskellige tidspunkter og dermed kortlægge, hvor høj koncentrationen af de forskellige komplekser var til givne tidspunkter (figur 3).

Disse koncentrationer af de forskellige komplekser benyttede han til at bestemme reaktionernes hastigheder.

antallet af elektroner i atomets yderste elektronskal, altså ændrer oxidationstallet. Formålet med Anders Reinholdts forskning er at opbygge et molekyle med gode katalytiske egenskaber, hvor titanatomet kan jonglere elektroner mellem andre molekyler og på denne måde muliggøre svære kemiske reaktioner.

Indledningsvist i forskningen har Anders Reinholdt pakket titan ind i såkaldte ligander, der er kemiske grupper, som danner en veldefineret geometrisk struktur rundt om titan-atomet. Når man kan styre geometrien rundt om titan, kan man også styre, hvordan det som katalysator skal reagere med andre molekyler.

Anders Reinholdt fortæller, at det på den måde er muligt i laboratoriet at lave Ti^{3+} , hvis man er meget omhyggelig og har de rigtige værktøjer til rådighed. Da forskeren i sine forsøg lavede Ti^{3+} indkapslet i en ligand, skabte han et stof med en dybblå farve, som i opløsninger ligner vinduesrens. Med hjælp af kaliumgrafit, der er en meget reaktiv forbindelse, som meget villigt overfører elektroner til andre molekyler, tvang han endnu en elektron ind i titans yderste skal og fik dermed skabt Ti^{2+} , som er grønt og ekstremt reaktivt.

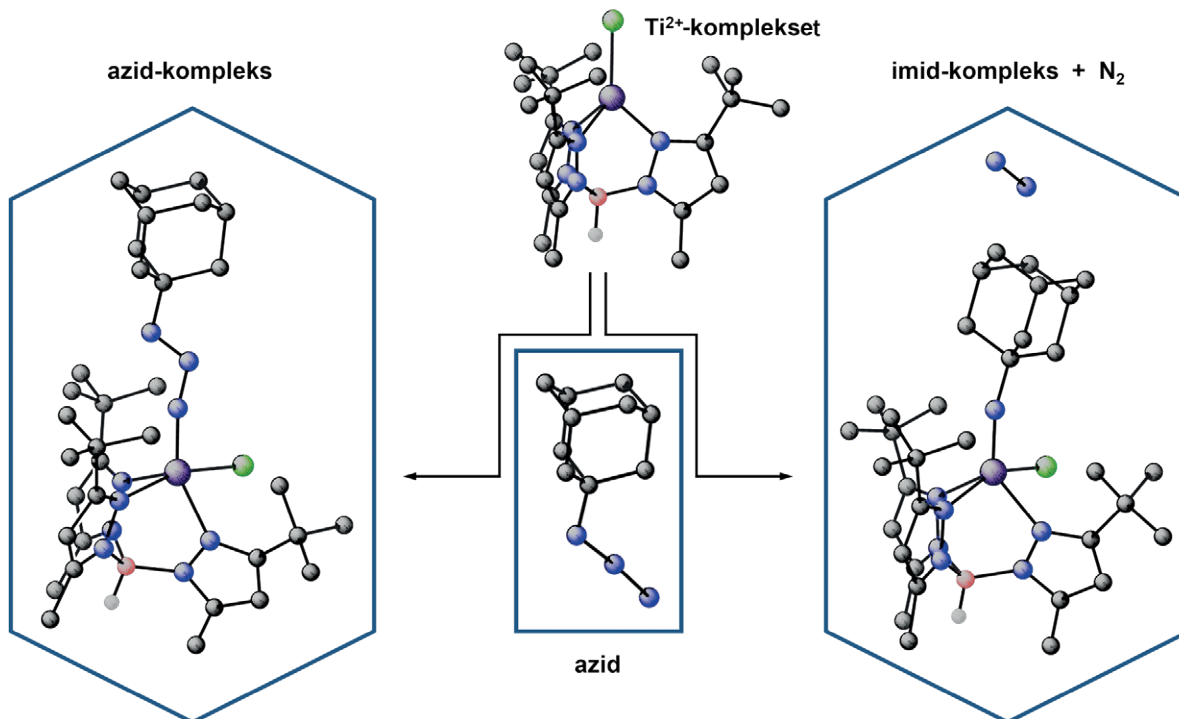
»Det hele skal laves i en handskeboks, der er en tætforseglet kasse fyldt med ultrarent argon – en ædelgas, der ikke kan reagere med noget som helst. Alt, hvad man laver i kassen, skal gøres ved hjælp af to handsker, som man stikker ind i kassen. Grunden til det er, at Ti^{2+} er voldsomt reaktivt og vil reagere kraftigt med luftens oxygen eller sågar nitrogen, hvis det kommer i kontakt med det,« forklarer Anders Reinholdt.

Lavede som den første bestemt kemisk struktur

Anders Reinholdt er ikke den første forsker i verden til at interessere sig for titans kemi, men han er med til at pionere forskningen.

Ti^{3+} har været kendt i mere end 100 år, hvor forskere har undersøgt titan i dette lavere oxidationstrin. De første succesfulde forsøg på at lave Ti^{2+} skete i 1980'erne, men der er forskel på de ligander, som overgangsmetallet bliver pakket ind i. Heri ligger også en interessant detalje.





Figur 2. Når Ti^{2+} -komplekset reagerer med et organisk azidmolekyle, giver reaktionen ganske forskellige produkter, afhængig af hvordan reaktanterne tilsættes. Til venstre ses dannelsen af et azid-kompleks, hvor azidet binder til Ti^{2+} uden at få brudt nogen af sine bindinger. Til højre ses dannelsen af et imid-kompleks, hvor azidets ene N-N binding bliver brudt, samtidig med at et N_2 -molekyle bliver dannet.

Traditionelt har forskere kun været i stand til at pakke Ti^{2+} ind i såkaldte oktaedriske geometrier, hvilke vil sige, at titan er omgivet af ligander, der tilsammen er bundet seks steder til overgangsmetallet. Anders Reinholdt er som den første forsker lykkedes med at pakke sit ekstremt reaktive titan ind i ligander, der kun er bundet fire steder til overgangsmetallet og dermed skabt en tetraedisk geometri omkring atomet.

Det lyder måske som en detalje for keminørder, men det er faktisk enormt betydningsfuldt. Når et titan-atom er omgivet af seks ligander, er det for indkapslet, til at andre molekyler kan komme ind til atomet og reagere med det. Så virker det heller ikke særligt godt som katalysator. Men med kun fire ligander bliver tilgængeligheden til titan øget, og det åbner op for det katalysatorpotentiale, som hele Anders Reinholdts forskning sigter mod at realisere.

»Den tetraedriske ligandstruktur omkring titan fandtes ikke før 2020, hvor vi fremstillede det for første gang. Det var ret fedt, da det lykkedes, fordi man i man-

ge år havde diskuteret, om det overhovedet kunne lade sig gøre, eller om systemet simpelthen ville være for reaktivt. Men det kunne lade sig gøre, og den tetraedriske ligandstruktur kan sammenlignes med, at man indkapsler et reaktivt monster i et bur, som man kan lukke det ud af, når det skal rive og få i andre molekyler i forbindelse med katalysering af en kemisk proces,« forklarer han.

Titan opfører sig som en tryllekunstner

Efter udviklingen af den tetraedriske ligandstruktur omkring titan var det blevet tid til at lave grundforskningseksperimenter med komplekset for at karakterisere dets reakti-

onsmønstre og de egenskaber, som Ti^{2+} har i komplekset.

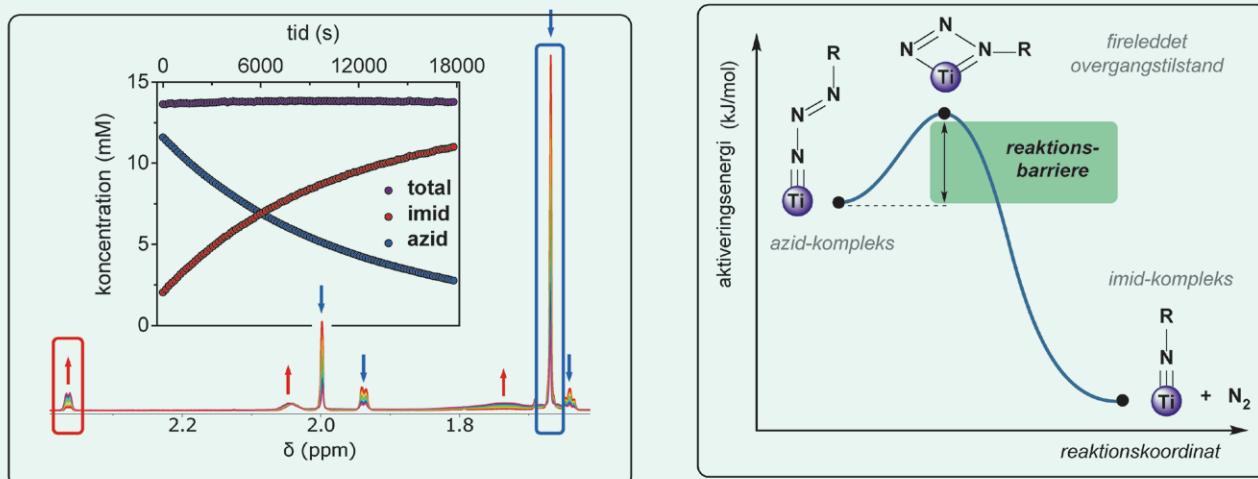
Klassiske Ti^{2+} -komplekser med en oktaedrisk ligandstruktur reagerer meget hurtigt med såkaldte azider, der er forbindelser med en kemisk formel, hvori der indgår tre nitrogenatomer. I hverdagen kendes azid-salte blandt andet fra airbags, hvor azidet kan gå i stykker og afstøde N_2 (den form for nitrogen, der udgør 78 procent af atmosfæren), hvorved airbaggen pustes op.

Indtil videre har forskere dog ikke kendt meget mere til den kemiske reaktion mellem Ti^{2+} og azid, end at der sker en afstødning af N_2 , og at der ud over det bliver dannet et

For at undgå nedbrydningsreaktioner med H_2O og O_2 håndteres alle forbindelser af titan i en såkaldt handskeboks fyldt med ultrarent argon.



Kinetiske eksperimenter stiller krav til teoretisk model:
Hvilke(n) reaktionsvej(e) stemmer overens med målingerne?



Teoretiske modeller stiller krav til eksperimentet:
Afrøv, om denne reaktion giver det forudsagte udfald!

Figur 3. Den kombinerede anvendelse af kinetiske eksperimenter og teoretisk modellering giver en dybere forståelse af omdannelsen af azid-komplekset til imid-komplekset. Til venstre ses, hvordan NMR-spektret af en reaktionsblanding ændrer sig over tid ved 70 °C. Toppe fra azid-komplekset bliver mindre intense (blå pile), mens toppe fra imid-komplekset bliver mere intense (røde pile). Den indsatte figur viser toppenes areal omregnet til koncentrationer, som sidenhen giver indblik i reaktionsordenen og aktiveringsenergien. Til højre ses et teoretisk udregnet reaktionsforløb, hvor azid-komplekset danner en fire-leddet overgangstilstand, inden N_2 afstødes og imid-komplekset dannes. Reaktionsbarrieren kan aflæses fra kurven for aktiveringsenergi.

produkt med en tripelbinding (figur 2). Dette produkt hedder inden for kemien et imid-kompleks. Et imid er en kemisk gruppe, der anvendes i blandt andet organisk syntese kemi og indgår i biologisk aktive molekyler som for eksempel lægemidler og pesticider.

»Imider kan man overføre til en lang række mindre kemiske molekyler og klistre dem sammen som legoklodser. Det har Ti^{2+} vist sig at være godt til. Først danner Ti^{2+} et imid-kompleks og overfører derefter imid-gruppen til et andet molekyle, hvorefter Ti^{2+} kan virke som en katalysator igen. Men man har ikke før nu vidst meget om, hvordan de her kemiske reaktioner forløber. Det er som en tryllekunst, hvor man ikke kan nå at følge med i, hvad tryllekunstneren laver med sine hænder. Man kan bare se, at de førhen var tomme, men at der nu er en kanin i en af dem. Sådan er det også med denne kemiske reaktion. Vi kender ganske vist til startpunktet og slutpunktet, men vi vil gerne vide, hvad der sker ind imellem,« forklarer Anders Reinholdt.

Forsøg gav ingen mening

Anders Reinholdt ønskede at finde ud af mere om den kemiske reaktion mellem Ti^{2+} og azider i dannelsen af imider og lavede derfor en lang række studier af reaktionsforløbet. En af disse undersøgelser viste som noget af det første, at der ved reaktionen ikke bare bliver dannet et imid-kompleks med dertilhørende afstødning af N_2 . Ydermere bliver der dannet et azid-kompleks med azid bundet til Ti^{2+} , uden at der ryger et N_2 i svinget.

Forskeren kløede sig først i hovedbunden og gav sig derefter til at undersøge, om noget ved selve reaktionsbetingelserne påvirkede udbytteforholdet mellem imid- og azid-komplekset. Her startede han med nogle meget simple forsøg, hvor han dryppede én ækvivalent af azid ned i Ti^{2+} -komplekset og observerede, hvad udfaldet blev. Denne tilgang resulterede i, at forholdet mellem de to produkter blev omtrent 1:1, altså et udbytte på ét imid-kompleks pr. ét azid-kompleks.

Da forskeren efterfølgende byttede

rundt på rækkefølgen og dryppede Ti^{2+} ned i azid, blev der næsten udelukkende dannet azid-komplekset og ikke meget imid. På samme måde blev der næsten udelukkende dannet azid-komplekset, da forskeren blandede azid i Ti^{2+} i forholdet 10:1. Omvendt blev der slet ikke dannet noget azid-kompleks, da forskeren blandede de to komponenter med mere Ti^{2+} end azid. Så blev der kun dannet imid.

Resultaterne af de mange forsøg var en gåde, men de pegede i den interessante retning, at der skulle anvendes et overskud af Ti^{2+} sammenlignet med mængden af azid, for at komplekset kunne afstøde N_2 i den kemiske reaktion.

»Det er altid interessant, når $A + B$ ikke giver det samme resultat som $B + A$. Det er faktisk sjældent, at det sker. Når man uddanner kemikere, fortæller man dem, at det næsten er ligegyldigt, om man hælder det ene i det andet eller omvendt, men lige i dette tilfælde er det altså ikke ligegyldigt,« siger Anders Reinholdt.

Identificerede den korrekte kemiske reaktion

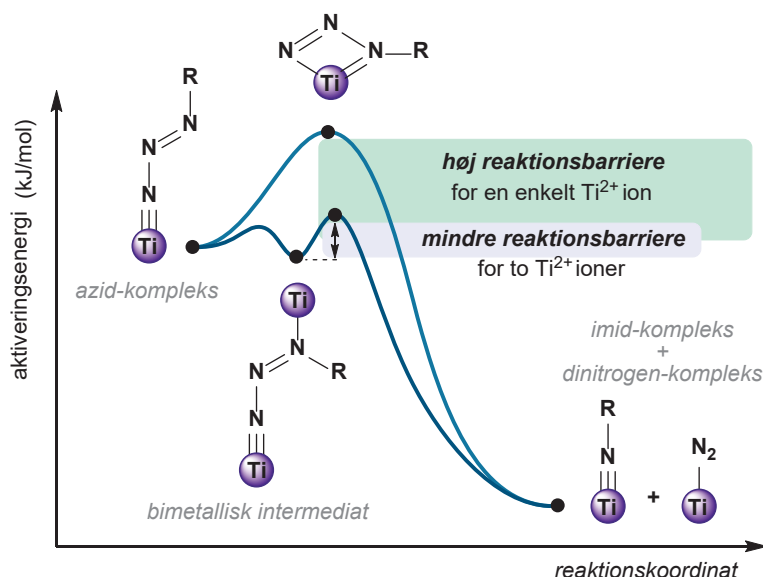
Det næste skridt i forskningen var at komme endnu et lag dybere ned i forståelsen af den kemiske reaktion. Til det formål benyttede Anders Reinholdt reaktionskinetik, som kan gøre forskere klogere på blandt andet reaktionshastigheder, og hvor meget energi der skal til, for at en given reaktion kan forløbe.

Anders Reinholdt fokuserede først og fremmest på azid-komplekset. Her fandt han ud af, at når han opvarmede komplekset til over 50 grader celsius, afstødte det N_2 og blev omdannet til imid-komplekset. Imid-komplekset var også det molekyle, som han hele tiden havde regnet med at få ud af processen.

Efterfølgende udregnede han, at der skulle en mængde energi svarende til 110 kJ/mol for at få azid-komplekset til at afstøde N_2 og blive til imid-komplekset. 110 kJ/mol er også det, som vi tidligere i denne artikel omtalte som aktiveringsenergi, altså hvor meget energi der skal til at få en reaktion til at forløbe. Omregnet til det, som forskere kalder for halveringstid, svarer det til, at halvdelen af alle azid-komplekserne vil blive omdannet til imid-komplekser i løbet af to måneder, hvis de bare får lov til at stå i en skål ved stuetemperatur.

Taler vi om katalysering af industrielt interessante kemiske processer, er to måneder nok lige i overkanten af, hvad man har tålmodighed til.

Da Anders Reinholdt havde fundet størrelsen på aktiveringsenergien, gik han sammen med en sydkoreansk forskergruppe, der er specialiseret i teoretisk kemi og med computerprogrammer kan udregne alle mulige måder, hvorpå to molekyler kan indgå i en reaktion. Samtidig kan de sydkoreanske forskere se, hvad det vil koste i energi at få reaktionen til at forløbe, og ved at sammenligne med aktiveringsenergien fra kinetiske eksperimenter kan man finde ud af, hvilket af de teoretiske reaktionsforløb der faktisk er



Figur 4. Sammenligning af to parallelt forløbende reaktionsforløb: Enten bryder et enkelt titan-atom N-N-bindingen i azidet på egen hånd (høj reaktionsbarriere), eller også bryder to titan-atomer N-N-bindingen i azidet ved at samarbejde (mindre reaktionsbarriere). Sameksistensen af en høj og en lav reaktionsbarriere forklarer, at reaktionen i figur 2 både kan føre til et azid-kompleks og et imid-kompleks afhængig af, hvordan reaktanterne sammenblandes.

det, som sker i den virkelige verden.

»De sydkoreanske forskere kom tilbage med flere forskellige mulige reaktioner, men kun én af dem kostede 110 kJ/mol. Så vidste vi, hvilken reaktion der var den rigtige. Der sker det, at azid-gruppen bøjer rundt, og azidet binder sig fast to steder på titan-atomet. Det danner derved en fire-leddet ring, som gør det muligt for N_2 at slippe fri, så imid-gruppen kan binde til titan-atomet i stedet for. Blandt de alternative teoretiske reaktionsveje fandt de sydkoreanske forskere et forløb, hvor azidet i stedet dannede en tre-leddet ring med titan, men den krævede over 170 kJ/mol,« forklarer Anders Reinholdt.

Titan-atomer arbejder sammen i par

Anders Reinholdt forklarer, at de mange eksperimenter ledte frem til opdagelsen af en reaktionsvej for omdannelsen af azid til imid, som det kræver mere end ét Ti^{2+} at håndtere. Når der er et underskud af Ti^{2+} til at drive processen, tager det to måneder for den at forløbe, men er der til gengæld et overskud af Ti^{2+} , tager det 10 millisekunder.

De sydkoreanske forskere fortsatte deres analyse af den kemiske reaktion, og her kunne de vise, at når der er to Ti^{2+} til stede i reaktionsblandingen for hver azid, samarbejder de to Ti^{2+} om at sænke reaktionsbarrieren, så den kommer helt ned på 42 kJ/mol. Reaktionen vil derved forløbe meget hurtigere, fordi der skal mindre energi til at drive den. Fundet gav i den grad mening, fordi det bekræftede det, som Anders Reinholdt havde set i laboratoriet, nemlig at når der var nok Ti^{2+} til stede, gik reaktionen meget hurtigt, mens den gik meget langsomt, når det ikke var tilfældet.

»Det har været et skoleeksempel på, hvordan eksperimentel kemi og teoretisk kemi kan arbejde sammen om at løse mysterier; i det her tilfælde hvordan et enkelt metal kan have en høj reaktionsbarriere for at klippe et azid i stykker, men at to kan arbejde sammen om at gøre det meget hurtigere og med et mindre energikrav. Det var den interessante konklusion, og den form for forgrenede reaktionsveje ser man sjældent, når man undersøger reaktionshastigheder,« siger Anders Reinholdt. ■

Ydere læsning:

A. Reinholdt, S. Kwon, M. G. Jafari, M. R. Gau, P. J. Carroll, C. Lawrence, J. Gu, M.-H. Baik, D. J. Mindiola, J. Am. Chem. Soc. 2022, 144, 527-537.

G. Proulx, R. G. Bergman, J. Am. Chem. Soc. 1995, 117, 6382-6383.

H. Wu, M. B. Hall, J. Am. Chem. Soc. 2008, 130, 16452-16453.

Forskere afkoder 2000 timers babysnak

Når piger hurtigere opnår et større ordforråd end drenge, skyldes det så, at forældre og andre voksne taler mere til pigebørn end drengebørn. Nej, lyder der umiddelbare svar fra forskere, der tålmodigt har afkodet ord fra over 2000 timers optagelser af babysnak. Shannon Dailey og Erika Bergelson fra Duke University, USA, ønskede at teste den hypotese, at den sproglige forskel på pige- og drengebørn tidligt i livet kunne skyldes, at pigerne simpelthen får et større input af sprog fra deres forældre eller andre, der tager sig af dem. Til det formål testede de 44 børn – 21 piger og 23 drenge – i et helt år fra de var kun seks måneder gamle. Det vil sige i et aldersinterval fra før børnene er begyndt at sige genkendelige ord til de fleste er begyndt på det i 18 måneders alderen. En gang om måneden blev babyerne udstyret med en farverig vest med en lille optager, der kunne rumme en hel dags konversation (cirka 16 timer). Børnene fik også en gang om måneden en kyse på med kamera, hvor-



En forsøgsbaby udstyret med kamera i undersøgelsen. Foto: Erika Bergelson, Duke University

fra forskerne kunne udtrække lyd til deres analyser.

I alt fik forskerne på den måde mere end 8000 timers optagelser, hvoraf de af hensyn

til tidsforbruget fokuserede på de 2000 timer, hvor der var mest snak. For at vurdere ordforrådet talte forskerne antallet af unikke navneord, de kunne identificere, da de fleste ord, børn under 18 måneder ytrer, netop er navneord. Dailey og Bergelson fandt i lighed med andre studier, at pigerne endte med at have et større ordforråd end drenge i måleperioden. I undersøgelsen sagde pigerne typisk deres første ord omkring deres et års fødselsdag, mens drengene var en måneds tid senere i 13 måneders alderen. Men forskellen kan ikke tilskrives, at pigerne som sådan begyndte at pludre tidligere, eller at de generelt var mere snaksalige end drengene – her kunne forskerne nemlig ikke registrere nogen forskel. Og det handler altså heller ikke om, at de voksne snakker mere til pigebørn – her er sammenhængen nærmere den, at de voksne taler mere til børn, jo mere børnene siger til dem.

CRK, Kilde: *Child Development*, Dec. 1, 2022. DOI: 10.1111/cdev.13872

Ny, blå fisk fra dybhavet

Dybavsgravene udgør de dybeste dele af verdenshavene. Her er der mere end 6.000 meter dybt, og det er ikke mange årtier siden, man troede, at intet liv kunne trives her. Derfor kaldte man området under 6.000 meter for den hadale zone efter oldgrækernes dødsrige, Hades. Men nyere forskning, blandt andet udført på dybhavsekspeditioner ledet af grundforskningscenteret Danish Center for Hadal Research på Syddansk Universitet har vist, at der findes liv, lige fra bakterier og virus til søgurker, krebsdyr og fisk i den hadale zone. På en ekspedition i 2018 ledet af Ronnie N. Glud og med Alan J. Jamieson fra University of Western Australia og Thomas D. Linley fra Newcastle University blandt deltagerne nedsænkede forskerne filmudstyr, fælder og madding til bunden af Atacama-graven, der løber langs vestkysten af Sydamerika. Og her viste flere slags fisk tilhørende familien ringbug (Liparidae), som også bliver kaldt sneglefisk, interesse for maddingen. En af disse arter skilte sig ud, og den har forskerne nu beskrevet i tidskriftet *Marine Biodiversity* som en helt ny art.



Den nye art: (A) observeret på 6714 meters dybde, (B) nyligt ophentet fra dybhavet, (C) præpareret i ethanol og (D) undersøgt med micro-CT. Fra Linley et al, *Marine Biodiversity* 2022.

Den er lille og blå med store øjne og nogle farver, som ellers kun er set hos ringbuge, der lever højere oppe i vandsøjlen. I deres artikel konkluderer forskerne, at den nye ringbug mere specifikt tilhører slægten *Paraliparis*. Arter fra denne slægt lever normalt i det sydlige Atlanterhav ved Antarktis og er sjældent set på dybere vand end 2.000 meter – og da slet ikke på de 6-7.000 meters

dybde, som den blev spottet på i Atacama-graven. *Paraliparis selti*, der på den oprindelige befolkning i Atacamaørkenens sprø Kunza betyder blå. Ifølge forskerne har den nye art muligvis udviklet sig fra den del af familien, der har tilpasset sig livet i det kolde Sydatlantiske ocean.

Indtil videre har forskere beskrevet 15 forskellige arter af ringbuge, der lever i den hadale zone. De fleste arter er kun fundet i en enkelt dybhavsgrav, hvor de lever fuldstændigt isoleret fra omverdenen, men der findes også arter, som er fundet i op til tre forskellige grave. Fælles for alle arter er, at de kan spores tilbage til en enkelt, fælles forfader. Det betyder, at efterkommere af denne fælles forfader flere gange har fundet frem til en dybhavsgrav og koloniseret den. Fordi dybhavsgravene er så isolerede fra omverdenen, blev disse fiskepopulationer også isolerede, og over tid har de udviklet sig til egne arter.

Birgitte Svennevig, SDU
Kilde: *Marine Biodiversity* (2022) 52:56

u-days

uddannelser med
muligheder



Kom og oplev din kommende
uddannelse til u-days 2023

23., 24. og 25. februar 2023

CELLERNES VITALE SVINGNINGER

De seneste år er det blevet påvist, at koncentrationen af en række afgørende proteiner i cellekernen udviser veldefinerede svingninger. Ny forskning forklarer, hvordan disse svingninger er med til at optimere vitale processer som DNA-reparation.

Siden de tidligste videnskabspersoner så op mod nattehimlen og begyndte at deducere, hvordan himmellegemerne bevæger sig, har oscillationer – eller svingninger – været et koncept, man nødvendigvis har måttet benytte. Oscillationer er en betegnelse for noget periodisk – altså noget, der vender tilbage igen som solens bevægelse over himlen (grundet jordens rotation) eller årstidernes variation.

I fysikken har man gennem tiden fundet utallige eksempler på oscillerende systemer, hvilket betyder at de opfylder den matematiske definition på et sådant system (se boks). Det kan være alt fra atomers vibrationer til koncentrationen af proteiner i vores organisme, hvor det sidste netop er det, jeg vil fortælle om i denne artikel.

Proteinkoncentrationer med rytme

I kroppens celler findes der tusinder af forskellige proteiner, som varetager alle vitale funktioner i cellerne. Derfor er det afgørende, at cellerne kan kontrollere produktionen af proteiner. Dette styres i høj grad af såkaldte transkriptionsfaktorer,

som er proteiner, der på genniveau regulerer produktionen af hundredevis af andre proteiner.

I de seneste årtier er der opstået en stor interesse for, hvordan koncentrationen af transkriptionsfaktorer varierer over tid. Et klassisk eksempel på dette er en transkriptionsfaktor kaldet NF- κ B. Denne er påvist at regulere aktiviteten af flere hundrede forskellige gener og have en afgørende betydning for immunforsvarets funktion, og mutationer i dette protein er korreleret med udbrud af sygdomme som diabetes og cancer. Når en celle stimuleres udefra med proteiner, som forøges i koncentration, når immunsystemet arbejder, begynder koncentrationen af NF- κ B inde i cellekernen at svinge med en periode på cirka halvanden time.

Et andet eksempel er proteinet p53, der ligeledes regulerer hundredevis af gener, og mutationer i dette protein er koblet til omtrent 50 % af alle cancertilfælde. Det skyldes, at p53 spiller en afgørende rolle i reguleringen af celledelinger og sikrer, at cellen ikke deler sig, når der er skade på DNA'et. For p53 blev det ligeledes i starten af

dette århundrede påvist, at når en celle får *mange* skader på sit DNA, igangsættes svingninger i protei- nets koncentration i cellekernen, her med en periode på cirka 5 timer (hvilket jeg kommer tilbage til senere i artiklen).

Opdagelsen af de oscillerende proteinkoncentrationer, der tydeligvis har en periode, har åbnet for det helt fundamentale spørgsmål: Hvad er funktionen af sådanne svingninger?

Signaler i svingning og kaos

Først og fremmest er det nærliggende at overveje, hvorledes oscillationer kan regulere specifikke gener. Vi har i vores forskning studeret dynamikken af koncentrationen af NF- κ B, der som tidligere nævnt kan sættes i svingninger og endda svinge med to forskellige periode- længder, hvis det stimuleres udefra. Som en grundlæggende model, har vi opdelt alle gener, der stimuleres af NF- κ B-proteinet efter deres affinitet, det vil sige hvor let de kan stimuleres af NF- κ B. Her har vi kunnet vise, at vi kan stimulere henholdsvis lav- og højaffinitets-gener ved at ændre på, hvordan koncentrationen af NF- κ B svinger. Således kan man

Om forfatteren



Mathias Spliid Heltberg er fysiker og arbejder som postdoc på Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet. Hans forskning er inspireret af biologiske observationer og centreret omkring dynamiske systemer som svingninger i samspil med grundlæggende fysiske fænomener som faseovergange. Han har tidligere modtaget ph.d.-prisen på Københavns Universitet og Kirstine Meyers mindelegat som anerkendelse for sin forskning. mathias.heltberg@nbi.ku.dk

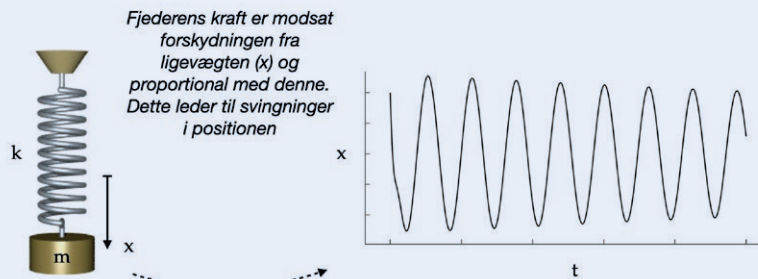
Oscillationer matematisk set

Matematisk defineres en oscillerende funktion helt simpelt:

$$x(t) = x(t + T)$$

Hvor T er svingningens periode, og altså den tid det tager, før systemet vender tilbage til sin oprindelige position.

Et stort skridt fremad i studiet af svingninger blev taget af den britiske fysiker Robert Hooke, der opdagede, at en fjeder har en kraft, der er proportional med afstanden til ligevægtspositionen. Han formulerede dette som:

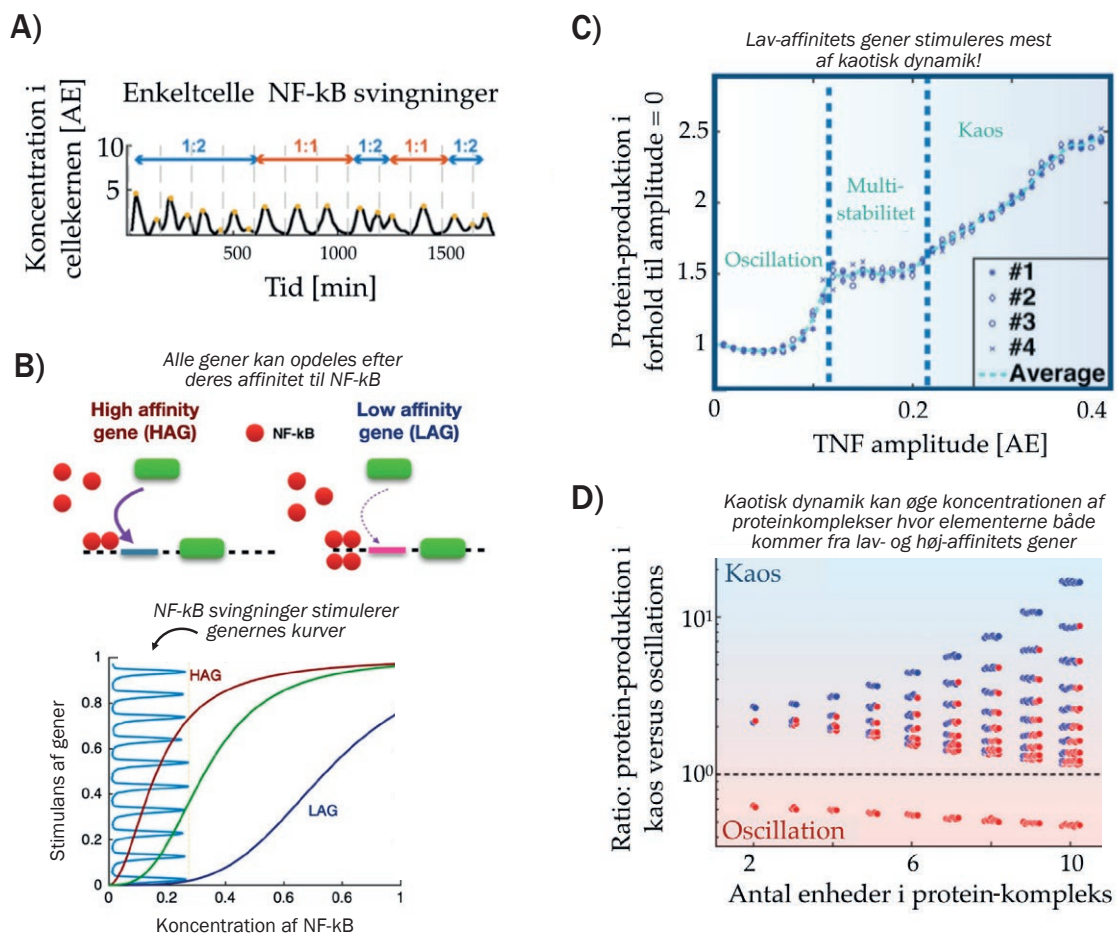


Figur 1. Skematisk illustration af en fjeder og den tilhørende svingende dynamik.

ut tensio, sic vis ("som forlængelsen, således kraften"). Ved at benytte den af Isaac Newton netop udviklede differentialregning, kunne man vise at et hvert system, der opfylder denne regel vil bevæge sig som en svingning:

$$F = -kx \Rightarrow x(t) = A \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right)$$

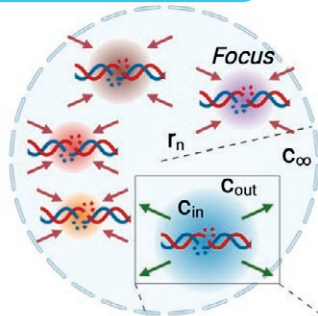
Hvor A er svingningens amplitude (altså højden), k er fjederkonstanten (altså hvor stiv fjederen er) og m er massen af det objekt, der svinger. Gennem dette system har man i fysikken fundet utallige eksempler på systemer, der opfylder den samme matematiske formulering og dermed udfører svingninger, lige fra atomers vibrationer til proteiners koncentrationer, som denne artikel handler om.



Figur 2.

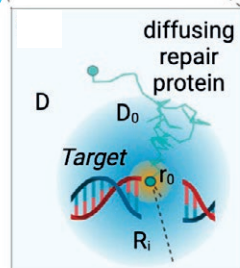
A) Svingninger i NF-kB under oscillerende stimulus fra TNF [2]. B) Skematisk model af, hvordan gener stimuleres af oscillationer af stor amplitude. C) Gennemsnitsproduktionen af lav-affinitets proteiner som funktion af TNF amplituden [3]. D) Produktionen af proteinkomplekser. x-aksen viser kompleksets størrelse, y-aksen viser forholdet mellem produktionen i kaotisk NF-kB dynamik og oscillerende NF-kB dynamik, mens punkterne angiver sammensætningen af proteinkomplekser (blå= lav affinitet, rød = høj affinitet).

Dannelse af dråber



Alle dråber forsvinder på nær den største, der vil dominere, fordi der strømmer mest protein ind i den.

Reparation af DNA



En dråbe om en skade kan optimere reparationen, da proteiner lettere kan finde skaden.

Figur 3.

Øverst: Schematisk figur, der viser adskillige dråber omkring DNA-skader i cellens kerne. De røde pile angiver dråber, der formindskes, mens de grønne repræsenterer en dråbe, der øges i størrelse. Nederst: En dråbe om en skade kan optimere reparationen, da proteiner lettere kan finde skaden.

med store amplituder stimulere gener med lav affinitet, mens man med en mere konstant gennemsnitsværdi (og dermed mindre svingninger) kan stimulere gener med høj affinitet. Det åbner for en helt ny måde at betragte genregulering, idet man med oscillerende dynamik kan op- og nedregulere hele familier af gener med den samme transkriptionsfaktor, der udelukkende virker stimulerende på de forskellige gener.

Vi har endvidere studeret andre typer af dynamik, og specielt har vi opdaget, hvorledes kaotisk dynamik kan benyttes som regulerende element blandt celler. Kaotisk dynamik er kort fortalt beslægtet med svingninger, men et kaotisk dynamisk system vil aldrig gentage sin bevægelse og dermed ikke have den periodiske bevægelse, vi finder i svingninger, men dog stadig udvise udsving af varierende størrelse. Det har længe været en hypotese i biologi, at kaotisk dynamik var noget, levende organismer skulle undgå, idet det leder til uorden og mangel på kontrol. Men nyere teoretiske resultater har åbnet for

muligheden for, at kaotisk dynamik kan lede til en yderlig opregulering af gener med lav affinitet.

De varierende udsving fra kaotisk dynamik giver også anledning til en forøgelse i effektiviteten, hvormed proteinkomplekser dannes. Ved at studere en simpel model for, hvordan proteiner sammensættes, kan man finde, at disse samles på en mere effektiv måde ved kaotisk dynamik.

Det muliggør altså en vigtig rolle for variationen i koncentrationen af transkriptionsfaktorer over tid, og hvordan det kan lede til forøget proteinsyntese i visse situationer. Det er noget, vi gennem eksperimenter vil studere nærmere i den kommende tid i samarbejde med kolleger fra USA, Kina og Taiwan.

DNA-reparation og faseovergange

I levende organismer bærer DNA-molekylet information om alle de proteiner, der både indgår i strukturer og som katalyserer cellens mange processer. Særligt for flercellede organismer er det helt

afgørende, at DNA forbliver intakt.

Det er dog et livsvilkår, at der kan opstå skader på DNA på alle niveauer og livsstadier, og derfor er det vigtigt for organismen at have en effektiv og optimeret respons på disse mutationer.

I de seneste år har man kunnet påvise, at der omkring det skadede DNA-område dannes en mikro-struktur med radius på cirka 100 nm, kaldet et fokus. Dette fokus har vist sig at være en egentlig dråbe, og den opstår på samme måde, som hvis man tilføjer en smule olie til et glas med vand, hvor olie-molekylerne vil mindske deres frie energi ved at samles i en dråbe. Indenfor fysikken siger vi, at der er sket en faseovergang. Det har vist sig, at et sådant lokalt miljø omkring det skadede DNA giver cellen mulighed for at opregulere de proteiner, der er nødvendige for reparationsprocessen og dermed øge effektiviteten og kvaliteten. Det er en ekstremt effektiv måde at optimere reparationen af DNA, idet de nødvendige reparationsproteiner på den måde bliver samlet på rette tid og sted i cellen. Denne teori om, at faseovergange kan resultere i, at materiale samler sig i dråber, er meget attraktiv for adskillige felter indenfor biologi. Det giver nemlig mulighed for at forstå mange forskellige processer som et resultat af, at der via dråbedannelse opstår fordelagtige situationer specifikke steder i cellen, som opløses igen, når der ikke længere er behov for dette respons.

Men hvordan passer dråbedannelsen ind i billedet, hvis cellen får flere skader på sit DNA samtidigt, hvilket meget ofte sker?

Ved at undersøge denne situation ved hjælp af statistisk fysik leder det frem til det resultat, der kaldes Ostwald-modning. Her konkurrerer dråberne om det tilgængelige materiale, men idet der vil strømme mest materiale ind i de største dråber, vil der efter et stykke tid ske det, at alle dråber er forsvundet på nær én, der

Videre læsning

[1] Heltberg, M. L. et al (2019). Inferring leading interactions in the p53/Mdm2/Mdmx circuit through live-cell imaging and modeling. *Cell systems*, 9(6), 548-558.

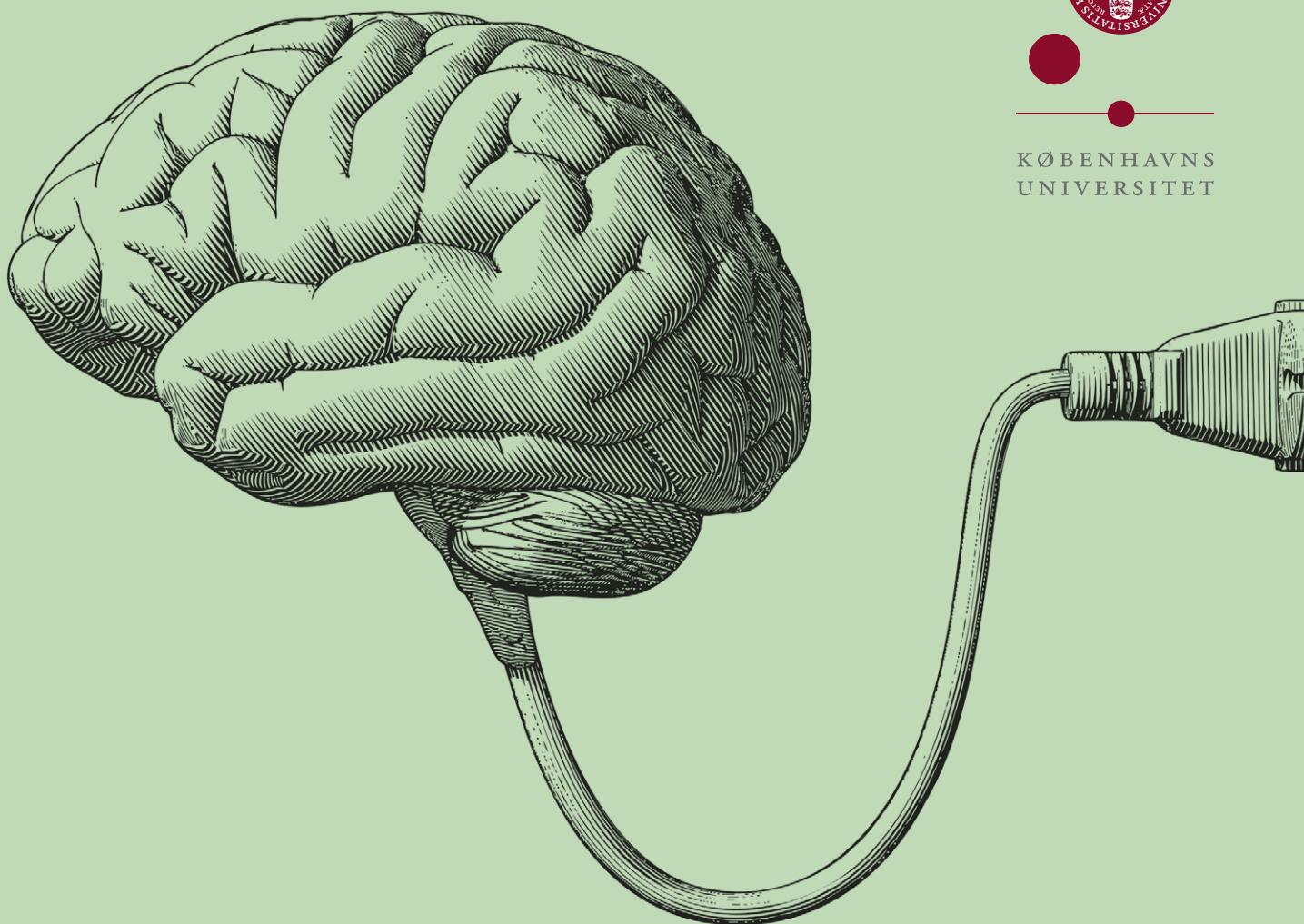
[2] Heltberg, M., Kellogg, R. A., Krishna, S., Tay, S., & Jensen, M. H. (2016). Noise induces hopping between NF- κ B entrainment modes. *Cell systems*, 3(6), 532-539.

[3] Heltberg, M. L., Krishna, S., & Jensen, M. H. (2019). On chaotic dynamics in transcription factors and the associated effects in differential gene regulation. *Nature communications*, 10(1), 1-10.

[4] Heltberg, M. L. et al (2021). Physical observables to determine the nature of membrane-less cellular sub-compartments. *Elife*, 10, e69181.



KØBENHAVNS
UNIVERSITET



INSPIRATIONS DAG FOR GYMNASIELÆRERE



Mød årets danske Nobelprismodtager i kemi, når Københavns Universitet holder den årlige inspirationsdag for gymnasiets undervisere i naturvidenskab og matematik. Morten Meldal holder aftenforedraget, inden vi afslutter dagen med en fælles middag.

Om formiddagen kan du blandt andet høre om flygtige gassers påvirkning af klimaet, og om der

findes en lottokupon med vindergaranti. Senere er der hands-on workshops med så forskellige emner som for eksempel undersøgelsesbaseret undervisning, geotermik og miljøøkonomi.

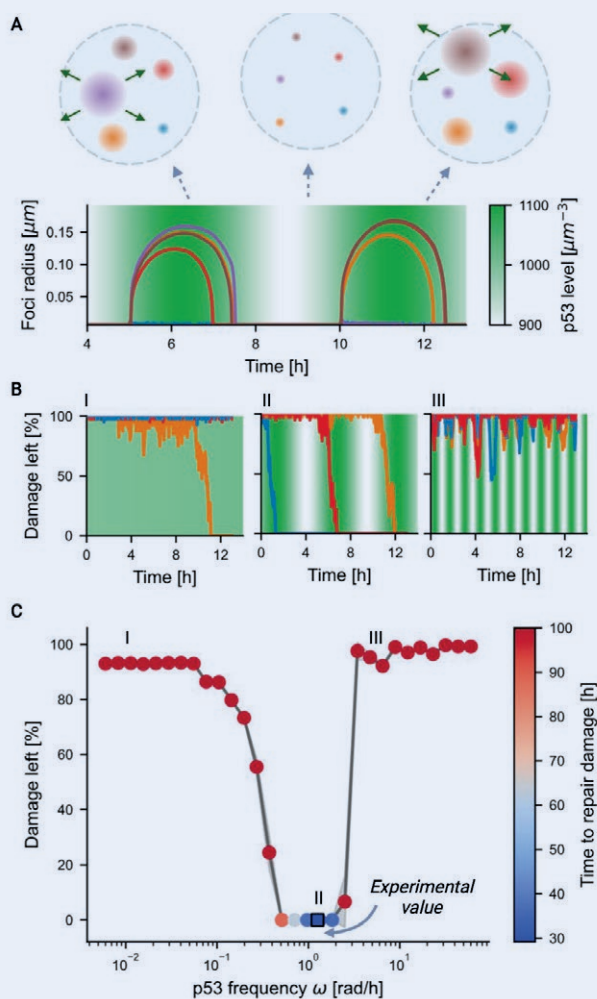
Inspirationsdagen finder sted **d. 3. februar 2023**. Deltagelse er gratis, og tilmelding sker efter først til mølle-princippet.

Tilmeld dig og læs mere om dagens program på
inspirationsdag.ku.dk/ba

Oscillationer sørger for, at dråberne kan deles om materialet fremfor, at det alt sammen ender i en enkelt dråbe.

Hvis svingningernes periode er for lang, vil reparationen af DNA-skaderne gå for langsom (venstre), og er perioden for kort, når dråberne ikke at reparere færdigt.

Svingninger på et par timer giver den mest optimale reparation



Figur 4.
Øverst: Skematisk figur, der viser dannelse og opløsning af dråber under oscillationer.
Midt: DNA-skade forsvinder hurtigst med en specifik frekvens, der hverken må være for hurtig eller langsom.
Nederst: Grafen viser reparations-effektiviteten som en funktion af den frekvens, som koncentrationen af p53 svinger med.

har samlet al materialet i en monopol-lignende tilstand. Det er en klar udfordring i forhold til at reparere flere DNA-skader, idet den optimale løsning her vil være at fordele materialet, så skaderne kan blive repareret en ad gangen mest effektivt.

Svingninger bryder monopol-tilstanden

Vi har i vores forskning for nylig vist, at den optimale løsning på dette problem er at igangsætte en svingning i dråbe-materialet, således at det nogle gange kommer under en kritisk værdi, hvor alle dråber opløses.

Man ved, at transkriptionsfaktoren p53 stimulerer syntesen af adskillige proteiner, der er relateret til DNA-reparation, men det har

tidligere været uvist, om oscillationer i koncentrationen af p53 faktisk kan øge reparationen af DNA. Her er det interessant, som vi nævnte i indledningen, at koncentrationen af p53 kun begynder at svinge, når der er mange skader på DNA'et (cirka 10 brud på DNA's dobbeltstreng). Her kan man forestille sig, at cellen ikke har ressourcer til at lave dråber omkring alle steder med brud, men må koncentrere ressourcerne om enkelte steder. På den måde kan en oscillerende koncentration af proteiner give en afgørende tidsskala for, hvornår dråberne opløses og nye skabes gennem tidsrum, der svarer til præcis den tid, det typisk tager at reparere et DNA-brud. Hvis svingningerne er for langsomme, vil reparationen ikke gå hurtigt nok. Og

hvis de går for hurtigt, vil dråberne ikke kunne dannes hurtigt nok, og DNA'et vil ikke blive repareret. Begge situationer kan være fatalt for cellen og måske for hele organismen.

Ud fra klassisk statistisk fysik har vi kunnet forudsige den optimale frekvens, hvormed koncentrationen af p53 skal svinge for at kunne lede til optimal reparation af DNA. Og den teoretiske forudsigelse stemmer overens med de frekvenser, vi observerer i levende celler.

Svingninger som signal om celledeling?

På nuværende tidspunkt har vi altså vist, at oscillationer i koncentrationen af p53 faktisk effektiviserer reparationen af DNA sammenlignet med, hvis koncentrationen blot havde et konstant niveau. I fremtidige eksperimenter vil vi yderligere teste vores hypotese ved for eksempel at kontrollere længden af perioden for koncentrationssvingningerne af p53 og samtidig måle antallet af ødelagte DNA-områder ved forskellige periodelængder. Her vil vi ud fra teorien forvente, at hvis vi gør perioden for p53-koncentrationen for kort, vil flere DNA-skader ikke blive ordentlig repareret, mens en for lang periode vil forlænge den tid, det tager at reparere alle steder med brud på DNA'et.

I vores forskning vil vi også undersøge, om oscillationerne yderligere fungerer som et afgørende signal, der sikrer, at cellen ikke deler sig så længe, der endnu er skade på DNA'et.

For os er det en meget tiltrækkende tanke, at grundlæggende fysiske principper som svingninger og faseovergange styrer de to mest fundamentale elementer i cellernes respons på DNA-skader: Den direkte reparation og den tilhørende regulering af cellens tilstand (det vil sige, om den for eksempel deler sig eller begår selvmord). Fremtidig forskning vil forhåbentlig kaste yderligere lys over, hvordan dette samspil af mekanismer medvirker til at udføre en af de mest fundamentale opgaver i cellen. ■

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

IT Camp for piger

11. - 12. marts 2023

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



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

Læs mere og tilmeld dig på sdu.dk/itcampforpiger

En mystisk sygdom i antarktiske fisk

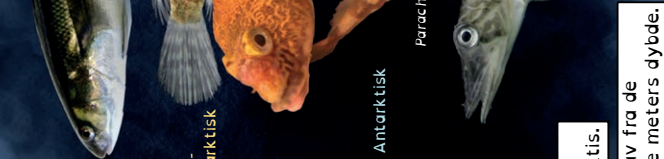
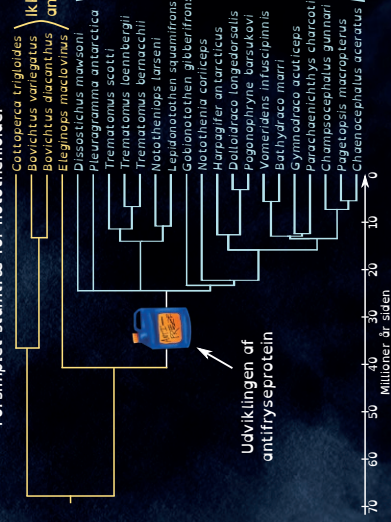
Af Chloe DaMommio,
John H. Postlethwait,
og Thomas Desvignes

Oversat af
Henrik Lauridsen



Blod og kropsvæsker i næsten alle dyr ville fryse til is i havvandet omkring Antarktis. Men i takt med at vandet blev koldere, udviklede en forfader til notothenioiderne, de mest udbredte fisk i det Sydlige Ishav omkring Antarktis, et antifryseprotein, der tillod dem at trives i dette iskolde miljø.

Forsimpleret stamtræ for notothenioider



Eleginops maclovinus
Trematomus scottii
Gobionotothen glaberrifrons
Pogonophryne barsukovi
Parachaenichthys charcoti
Chionodraco raastropinosus

Antarktis has været koldt og konstant dækket af is i millioner af år.

Dette stabile miljø ændrer sig i øjeblikket. Hurtigt.

Temperaturen øges og gletsjere smelter.

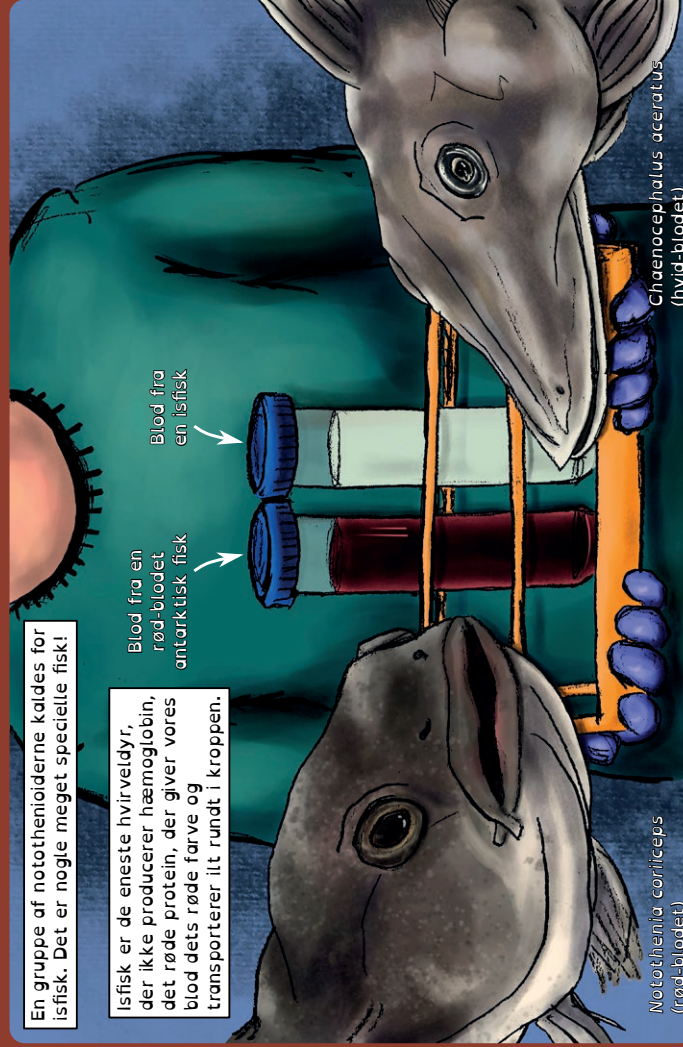


En gruppe af notothenioiderne kaldes for isfisk. Det er nogle meget specielle fisk!

Isfisk er de eneste hvirveldyr, der ikke producerer hæmoglobin, det røde protein, der giver vores blod dets røde farve og transporterer ilt rundt i kroppen.

Blod fra en rød-blodet antarktisk fisk

Blod fra en isfisk



Notothenia coriiceps (rød-blodet)

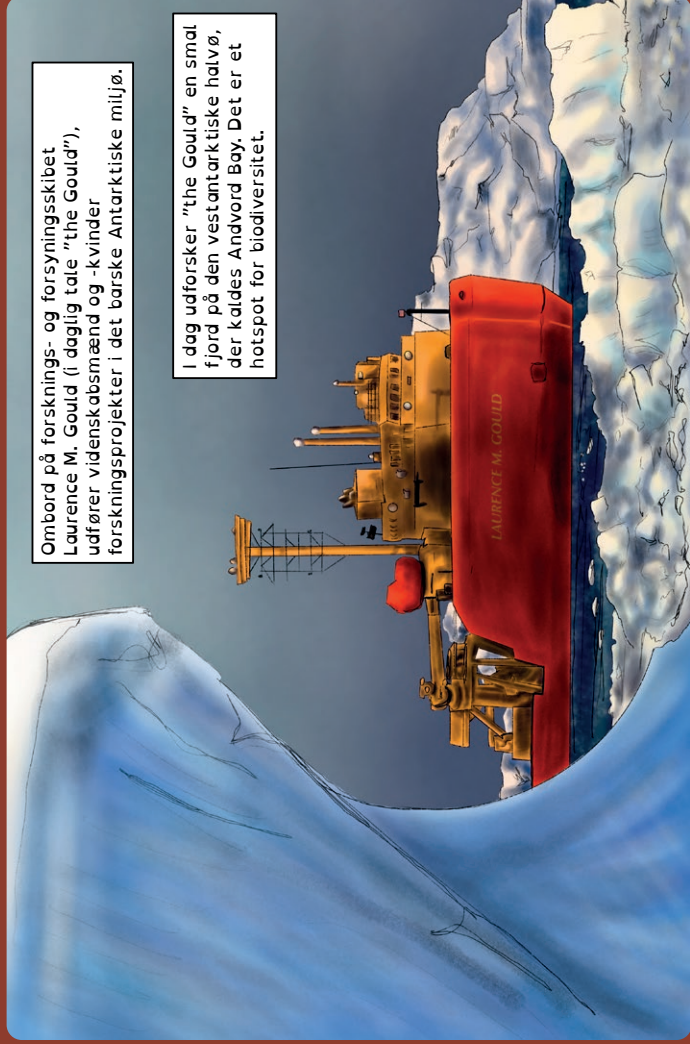
Chaenocephalus aceratus (hvid-blodet)

Med begrænset konkurrence og få rovdyr udviklede notothenioiderne sig i mange retninger omkring Antarktis.

Notothenioiderne koloniserede Det Sydlige Ishav fra de øverste vandlag lige under isen til flere tusinde meters dybde.

Ombord på forsknings- og forsyningskibet Laurence M. Gould (i daglig tale "the Gould"), udfører videnskabsmænd og -kvinder forskningsprojekter i det barske Antarktiske miljø.

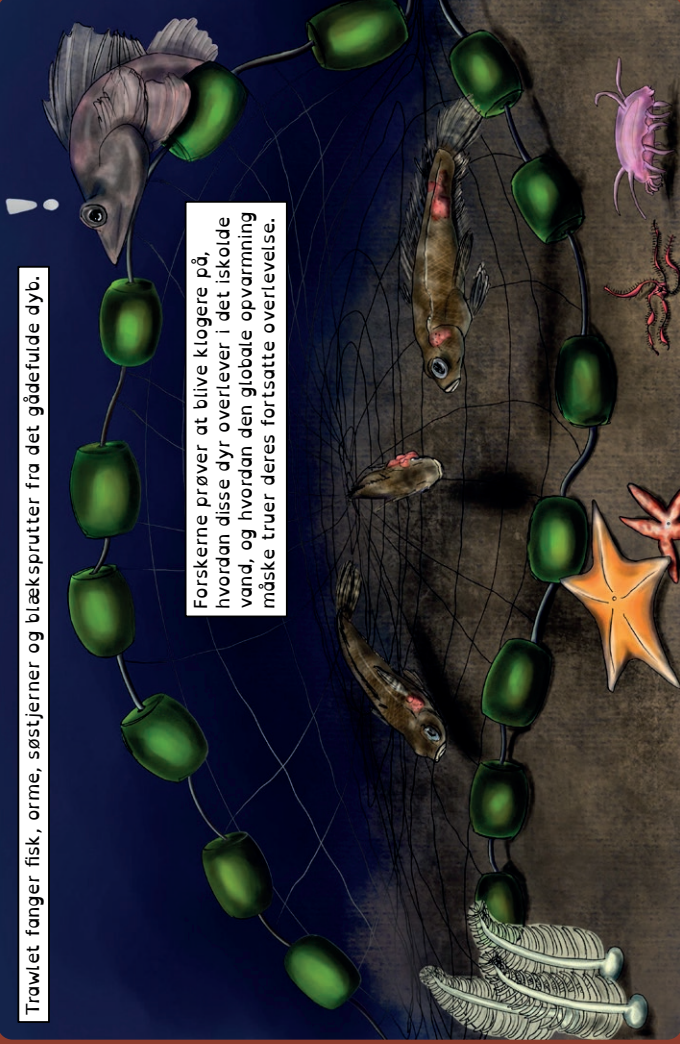
I dag udforsker "the Gould" en smal fjord på den vestantarktiske halvø, der kaldes Andvord Bay. Det er et hotspot for biodiversitet.



Denne nat slæber forskerne et trawl over havbunden.



Trawlet fanger fisk, orme, søstjerner og blæksprutter fra det gådefulde dyb.



Forskerne prøver at blive klogere på, hvordan disse dyr overlever i det iskolde vand, og hvordan den globale opvarmning måske truer deres fortsatte overlevelse.

Men imens fangsten sorteres...



Venti!

Der er noget galt med denne fisk!

Mange af fiskene har sæere svulster på huden!

Lad os tage nogle af dem med hjem til Palmer for at studere dem nærmere.



Ved at analysere billeder af syge fisk, blev det klart at svulsterne oftere forekom lige bag ved hovedet og tæt ved gattet.

Det tyder på at infektionen er forbundet med fødesøgning.

Ved hjælp af molekylærbiologiske redskaber, der specifikt farver enten fiskens egne celler eller X-cellerne blå, blev det klart at parasitten lever inden i fiskens skind, hvor den optager store områder imellem tynde strenge af fiskeskind.

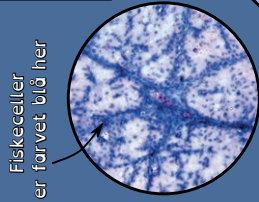
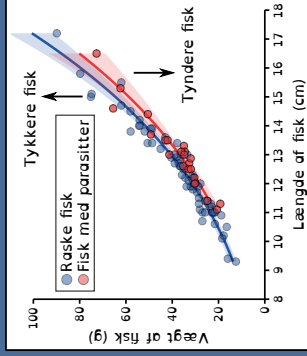
Resultatet af farvningerne var billeder, der næsten var negative af hinanden.

Måling af fiskenes vægt og længde viste, at fisk med parasitter var tyndere end raske fisk.

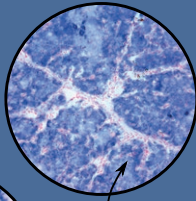
De her parasitter må virkelig være skadelige for fisken!



- Alvorligt påvirket skind
- Moderat påvirket skind
- Ikke påvirket skind



Fiskeceller er farvet blå her



Og her er X-cellerne farvet blå

Forskerne planlægger at tage tilbage og udforske andre områder for at besvare disse spørgsmål.

Hvorfor påvirker X-celler disse fisk lige nu, når man ikke tidligere har observeret lignende epidemier i Antarktis?

Eller bliver fiskene svagere på grund af klimændringer og dermed mere modtagelige over for sygdomme?

Måske begge dele?

Eller måske noget helt tredje? Der er stadig meget, vi ikke ved om disse parasitter...

Er det fordi X-cellerne bliver mere infektiøse, når temperaturen stiger?

Vil sygdommen sprede sig til andre fisk og andre lokaliteter i Det Sydlige Ishav?



Vi vil gerne takke kaptajnen og besætningen på ARSV Laurence M. Gould, personalet ved det amerikanske Antarktiske program for assistance i Chile, til søs, på Palmer Station såvel som logistikpersonalet i Denver (Colorado) for deres arbejde, der muliggør feltarbejde i Antarktis.

Oversættelser udført af:

Dansk: Henrik Lauridsen
Fransk: Thomas Desvignes og Florent Pomeyrol
Spansk: Alejandro Valdivieso og Manuel Novillo
Tysk: Angelika Schartl

Den benyttede skrifttypen er OpenDixlexic-Alta, der er designet til at hjælpe mod de mest almindelige symptomer på ordblindhed.

Baseret på de virkelige begivenheder og opdagelser rapporteret i den videnskabelige artikel "A parasite outbreak in notothenioid fish in an Antarctic fjord" (2022) i iScience af T. Desvignes, H. Lauridsen, A. Valdivieso, R.S. Fontenele, S. Kraberg, K.N. Murray, N.R. Le François, H.W. Detrich, M.L. Kent, A. Varsani, og J.H. Postlethwait.



Dette materiale er baseret på arbejde støttet af the Office of Polar Programs ved the National Science Foundation under NSF grant number OPP-1947040. Alle meninger, opdagelser, konklusioner og anbefalinger udtrykt i dette materiale tilhører forfatterne og afspejler ikke nødvendigvis synspunkter fra National Science Foundation.



(c) 2022 University of Oregon. Authored by DaMommio, Postlethwait, Desvignes.



Efterskrift: EN MYSTISK SYDOM I ANTARKTISKE FISK

I 2018 var jeg en del af et amerikanskledet forskerhold, der blandt andet skulle belyse effekten af temperaturændring på forsterudviklingen i udvalgte arter af såkaldte notothenioider – den dominerende gruppe af fisk i ishavet omkring Antarktis. Det var i den forbindelse, vi gjorde den opdagelse, som du har kunnet læse om i tegneserien – nemlig at en stor del af fangsten af arten *Trematomus scotti* fanget i Andvord Bay havde store svulster voksende ud af kroppen på diverse steder.



Forfatteren Henrik Lauridsen med en antarktisk isfisk.

Tegneserien blev forfattet af Thomas Desvignes og John Postlethwait, som er hovedforfatterne bag den videnskabelige rapport, hvori opdagelsen beskrives, og blev illustreret af Chloe DaMommio, som er studerende ved University of Oregon. Formålet var at udbrede kendskabet til noget af den videnskab, der bedrives i Antarktis igennem et velkendt og letforståeligt format som en tegneserie.

Fysiologisk interessante fisk

Den antarktiske fiskefauna repræsenterer et fysiologisk set interessant emne at studere. Som forklaret i tegneserien kan notothenioider undgå at fryse til is ved temperaturer, hvor andre fisk må give fortabt. Denne tilpasning har tilladt notothenioiderne at blive en artsrig og vidt udbredt gruppe i Det Sydlige Ishav. På grund af den lave temperatur forløber udviklingen fra æg til fiskelarve relativt langsomt i notothenioiderne. Mange arter gyder i den tidlige antarktiske vinter (maj – juni), og i løbet af vinteren udvikler fiskefostret sig til en lille fiskelarve, mens det tærer på sin blommesæk. Under normale omstændigheder passer tidspunkt for, hvornår fostrets egne ressourcer er opbrugt fint med, hvornår produktionen af planteplankton og derefter dyreplankton tager fart i det antarktiske forår, når solen får magt igen.

Imidlertid er polerne blandt de steder på kloden, hvor klimamodeller forudsiger nogle

af de største temperaturændringer som følge af den globale opvarmning, og derfor er det ikke urealistisk at forestille sig, at havtemperaturen visse steder omkring Antarktis i gennemsnit vil stige med 4 – 5 °C. Det er potentielt problematisk for notothenioidernes fosterudvikling, idet den med stor sandsynlighed vil blive accelereret af den højere gennemsnitstemperatur, således at blommesækken bliver opbrugt tidligere, end dyreplankton bliver tilgængeligt. For selv om vandet bliver varmere, betyder det ikke at solen kommer tilbage tidligere. Måske er notothenioiderne i stand til at tilpasse sig denne forandring, men det vides ikke, og idet notothenioiderne udgør en væsentlig del af fødegrundlaget for en lang række organismer (sæler, pingviner m.m.) i det antarktiske økosystem, er det væsentligt at få afklaret dette spørgsmål.

Dette var baggrunden for forskningstogtet i 2018, som forløb over tre måneder fra april til juni og foregik ved, at vi på adskillige kortere togter (3 – 4 dage ad gangen) fiskede med bundtrawl og tejner efter notothenioider langs Den Antarktiske Halvø. Fiskeriet foregik med mindre grej og i kortere tid end, hvad man normalt anvender i fiskeriundersøgelser, og derfor var det muligt at bringe fangsten ombord relativt skånsomt og bringe fiskene levende tilbage til den amerikanske forsk-

ningsstation, Palmer Station, på Den Antarktiske Halvø. Her blev gydemodne fisk strøget for æg og sæd, hvorved vi fik fostre, der kunne studeres under forskellige temperaturregimer.

Fiskevæv i MR-scanneren

Det var således ved en tilfældighed, at vi stødte på udbruddet af den nye fiske sygdom blandt *Trematomus scotti* ved Den Antarktiske Halvø. I opklaringsarbejdet, der fulgte, var min rolle at fastslå præcis hvor på kroppen, svulsterne optrådte, og hvor omfangsrige de var. Min ekspertise ligger

indenfor det at bruge moderne medicinske billeddannende teknikker (også kendt som imaging) til at forstå, hvordan dyr fungerer. Ofte er mit fokus på egenskaber i dyr, der har medicinsk potentiale.

Eksempelvis bruger vi i min forskningsgruppe mange kræfter på at aflure, hvordan salamanderen kan regenerere skadet væv. Men i forhold til de antarktiske notothenioider var min opgave at benytte imaging til at belyse fysiologien i disse specielle fisk, og det viste sig nyttigt, da vi opdagede de store mængder syge fisk.

Ved at MR-scanne hjemtagne fiskepræparater kunne jeg afgøre, at svulsterne i *Trematomus scotti* var overfladiske (altså et hudfænomen) og i mange tilfælde udgjorde en ganske stor del af kroppens overfladeareal og sågar en stor del af fiskens samlede masse. Ved at sammenligne kropsmassen relativt til kropslængden hos syge fisk i forhold til raske, kunne vi efterfølgende fastslå, at syge fisk var i dårligere kondition end raske og dermed naturligt nok var påvirket negativt af sygdommen. ■

Af Henrik Lauridsen, ph.d.,
biolog ved Institut for klinisk Medicin,
Aarhus Universitet. henrik@clin.au.dk
Artikel: Desvignes, T. et al i *iScience* Vol. 25,
Iss. 7, 15 July 2022. Kortlink.dk/2gbur



**MAKE IT
REAL**

**Savner du inspiration til
interessant læringsmateriale
i din undervisning?**

På Aalborg Universitets streamingunivers, AAU Play, finder du korte videoforelæsnings om aktuel forskning og faglige emner – fx inden for matematik, fysik, kemi, kunstig intelligens, vedvarende energi, power-2-x og bioteknologi.

Videoerne varer 10-15 minutter, og bliver præsenteret af forskere. Til hver forelæsnings er der et opgavesæt, som udvider emnet – brug det fx på klassen, til gruppearbejde eller som inspiration til SRP/SOP.

Du kan bruge AAU Play lige, som du ønsker – alt efter, hvad der fungerer bedst til din undervisning og dine elever.

**SE MERE PÅ:
[AAU.DK/AAU-PLAY](https://aau.dk/aau-play)**



UNDER- VISNING ON DEMAND



AALBORG UNIVERSITET
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN





Om forfatterne



Henry Nielsen er lektor emeritus ved Center for Videnskabsstudier, Matematisk Institut, Aarhus Universitet. Han har i de sidste to årtier især forsket i atomteknologiens historie og samfundsmæssige betydning i forholdet mellem USA, Grønland og Danmark. henry.nielsen@css.au.dk



Casper Andersen er lektor i idéhistorie ved Institut for Kultur og Samfund, Aarhus Universitet. Han forsker i videnskabens og teknologiens globale historie med særligt fokus på perioden fra cirka 1850 til i dag. ideca@cas.au.dk

DOMMEDAGSURET

Siden 1947 har en gruppe fremtrædende videnskabsfolk brugt det såkaldte Dommedagsur til at advare om den alvorlige trussel fra kernevåben, som menneskeheden står over for. Viseren har aldrig stået tættere på klokken 12 midnat – dommedag – end den gør i disse år.

I maj 1945 stod det klart for den absolutte politiske og militære top i USA, at det storstilede Manhattan-projekt inden længe ville gøre USA til verdens første atommagt. Derfor nedsatte den amerikanske krigsminister Henry L. Stimson en interimkomité, bestående af militærfolk, fysikere og politikere, der skulle rådgive den nytiltrådte præsident Harry Truman om, hvordan atombomben skulle anvendes. En anden gruppe videnskabsfolk, som befandt sig ved Met Lab i Chicago, og som også var en del af Manhattan-projektet, fik dog

hurtigt fært af, at andre nu var ved at afgøre, hvordan bomben skulle bruges. Med nobelpristageren James Franck som formand samt kernefysikeren Leo Szilard og biofysikeren Eugene Rabinowitch som penneførere forfattede gruppen derfor i al hast en rapport, der blev kaldt Franck-rapporten. Heri tog gruppen stærk afstand fra at bruge bomben mod en japansk by i den igangværende krig. I rapporten hed det blandt andet:

“De videnskabelige facts, som bombens konstruktion bygger på,

er velkendte af videnskabsfolk i andre lande. Medmindre vi får organiseret en effektiv international kontrol med nukleare våben, kan vi være sikre på, at der vil gå et kernevåben-rustningskapløb i gang, så snart vi har vist, at vi besidder sådanne våben. Indenfor ti år kan andre lande have kernevåben, der vejer mindre end et ton, og som er i stand til at ødelægge en by på mere end fem kvadratmiles”.

USA's præsident måtte derfor tænke langsigtet, når han skulle beslutte, hvordan han ville bruge

← Den 23. januar 2020 blev Dommedagsuret stillet frem til at vise 100 sekunder i midnat, det nærmeste uret nogensinde har været på dommedag. De to personer til højre er henholdsvis Mary Brown, formand for ur-komiteen, og Ban Ki-moon, FN's generalkommissær i perioden 2007-2016. Foto: © Med tilladelse fra *Bulletin of the Atomic Scientists*

det nye frygtindgydende våben, som USA var kommet i besiddelse af. For det kunne meget vel vise sig, at de militære fordele og de sparede amerikanske liv som følge af en beslutning om uvarslede atombombenangreb på Japan kunne blive mere end "opvejet af det medfølgende tab af tillid og den bølge af rædsel og afsky, der vil skylle hen over resten af verden". Franck-rapporten kom derfor med dette forslag til, hvad USA burde gøre i stedet:

»En første demonstration af det nye våben bør finde sted i en ørken eller på en øde ø for øjnene af repræsentanter for alle De Forenede Nationer. Den bedst mulige atmosfære for indgåelse af en international overenskomst [om atomvåben] opnås, hvis USA kan sige til verden, 'I har nu set, hvilket våben vi havde til rådighed, men som vi undlod at bruge. Vi er også parate til at afstå fra at bruge det i fremtiden, hvis andre nationer går sammen med os i en sådan afståelsestraktat og accepterer en effektiv international kontrol'.«

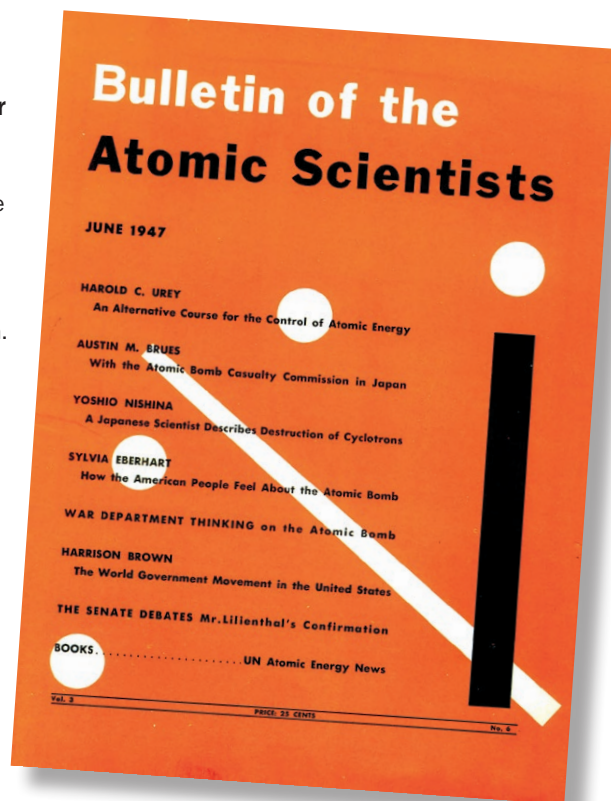
Franck-rapporten, der var dateret 11. juni 1945, nåede lige at blive diskuteret i Interimkomiteén, der havde til opgave at rådgive præsidenten om, hvordan det nye formidable våben bedst kunne tages i brug mod Japan, men rapportens forslag blev fejlet til side. Flertallet i komiteen, heriblandt Robert Oppenheimer, den videnskabelige leder af Manhattan-projektet, gik ind for et uvarslet angreb på en japansk industriby med våbenfabrikker omgivet af arbejderboliger. Og det skete som bekendt med nedkastning af én atombombe over hver af de to japanske byer, Hiroshima og Nagasaki, henholdsvis den 6. og den 9. august 1945.

Dommedagsuret kommer til verden

Selvom Chicago-gruppen således ikke fik held til at forhindre atombombens anvendelse i Anden Verdenskrig, fik deres anstrengelser i maj-juni 1945 alligevel betydning efter krigen. Franck-rapporten var nemlig den vigtigste inspirationskilde for lanceringen af et nyhedsbrev, der fik titlen *Bulletin of the Atomic Scientists*.

Fra og med det første nummer, der udkom den 10. december 1945 under redaktion af kernefysikeren Hyman H. Goldsmith og biofysikeren Eugene Rabinowitch, så nyhedsbrevets redaktører det som deres vigtigste opgave at holde den amerikanske offentlighed orienteret om "de videnskabelige, teknologiske og sociale problemer, der hænger sammen med udnyttelse af kerneenergi". De første tre numre var på kun seks sider, men da interessen for nyhedsbrevet viste sig overraskende stor, voksede sideantallet gradvist, indtil det fra og med juni 1947 blev transformeret til et 32-siders tidsskrift med en professionelt designet forside i farver. Forsiden rummede en indholdsfortegnelse, men derudover – og det var det, der ramte læseren lige i hjertekulen – var der afbildet et stiliseret ur, der viste syv minutter i midnat! Med tiden voksede tidsskriftets omfang og udbredelse yderligere.

Ingen læser kunne være i tvivl om, at det var redaktørernes forsøg på at illustrere, hvor tæt verden efter deres opfattelse var på den ultimative katastrofe på dette tidspunkt, altså i juni 1947. Uret, der blev tegnet af kunsteren Martyl Langsdorf, blev hurtigt døbt Dommedagsuret (The Doomsday Clock), og det har været afbildet i alle numre lige siden. Men uret har ikke stået stille hen over årene. Urets minutviser har bevæget sig i takt med vægtige forandringer i den teknologiske eller politiske globale, nukleare situation, som den ansvarshavende



Forsiden af *Bulletin of the Atomic Scientists'* juni nummer 1 1947, hvor Dommedagsuret blev fremvist første gang. Illustration: © Med tilladelse fra *Bulletin of the Atomic Scientists*.

redaktion har fundet positive eller negative i forhold til verdensfreden.

Den store viser på Dommedagsuret har flyttet sig 24 gange i perioden 1947-2022, og hver gang har en udførlig begrundelse ledsaget flytningen. Undtagen i juni 1947, hvor *Bulletins* redaktører ikke gav en nærmere begrundelse for, at de havde valgt at lade det første Dommedagsur vise netop syv minutter i midnat. Men når uret var så tæt på at falde i slag, kunne det ikke undgå at give læseren det indtryk, at det hastede med at få atombomben under kontrol.

Dommedagsurets bevægelser under den kolde krig

Redaktionen besluttede tidligt, at den ikke ville lade uret reagere på en enkeltbegivenhed, medmindre en sådan begivenhed med stor sandsynlighed ville få længerevarende konsekvenser for hele verden. Redaktørerne undlod eksempelvis at flytte viserne i for-



Kunstneren Martyl Langsdor skabte i 1947 Dommedagsuret, som snart skulle blive en ikonisk illustration i tidsskriftet *Bulletin of the Atomic Scientists*. Foto: © Med tilladelse fra *Bulletin of the Atomic Scientists*.

bindelse med Cubakrisen i oktober 1962, der af mange historikere ellers betragtes som det øjeblik, hvor verden har været tættest på en atomkrig mellem USA og Sovjetunionen. Men Cubakrisen varede kun 2-3 uger, og da den var overstået, blev den afløst af et forsigtigt tøbånd i forholdet mellem de to supermagter.

Til gengæld blev den store viser flyttet fra syv til tre minutter i 12 som reaktion på den første sovjetiske atomsprængning i august 1949, og kun fire år senere helt frem til to minutter i 12, da det stod klart, at både USA og Sovjetunionen nu rådede over brintbomber, der var flere hundrede gange kraftigere end Hiroshimabomben. Hvilket betød, at bare én brintbombe ville være i stand til at udslætte storbyer som New York og Moskva.

Frem for enkeltbegivenheder sigter Dommedagsuret på at måle verdens strategiske sikkerhedssituation, det vil sige, hvilke våben lande og organisationer kan bringe i spil i aktuelle konflikter, og hvilke institutioner der er til rådighed for at forhindre konflikterne i at eskalere.

Under Den Kolde Krig bevægede

den store viser sig flere gange faretruende tæt på midnat. Men i Den Kolde Krigs afsluttende fase og i det følgende årti gik det den anden vej. Da blev viseren flyttet længere og længere væk fra midnatstimen, indtil det nåede en maksimal afstand på 17 minutter i årene 1991-96. Mange mennesker oplevede det dengang, som om truslen fra kernevåben helt var forsvundet, og den opfattelse har mange tilsyneladende gået rundt med indtil for ganske nylig. I hvert fald er det en kendsgerning, at klimakrisen i de sidste tyve år har fået meget mere spaltepåds i de fleste medier end kernevåbentruslen, selvom begge trusler har potentiale til at ødelægge mulighederne for menneskets fortsatte tilstedeværelse på planeten Jorden.

Igen på vej mod midnat

I det nye årtusinde har Dommedagsuret igen bevæget sig uhyggeligt tæt på midnat, indtil det i 2020 nåede det nuværende absolutte lavpunkt: kun 100 sekunder i midnat. Denne yderst foruroligende udvikling skyldes flere ting. Her er nogle af hovedpunkterne:

I 1998 blev uret stillet frem til ni minutter i 12, hovedsageligt på

grund af en serie atomforsøg, der blev gennemført i maj samme år af de to dødsfjender Indien og Pakistan. Indien havde gennemført en såkaldt "fredelig atomeksplosion" allerede i 1974, men det var først nu, i 1998, at Pakistan officielt markerede sig som en atommagt.

I 2007 blev uret stillet endnu længere frem, nemlig til fem minutter i 12, hvilket blev kædet sammen med tre tendenser i tiden, som *Bulletins* redaktion anså for at være alvorlige tilbageskridt for menneskeheden fremtidsudsigter: At USA og Rusland havde påbegyndt en omfattende modernisering af deres atomarsenaler, at det fattige og isolerede Nordkorea havde trodsset verdenssamfundets advarsler ved at foretage sin første atomprøvesprængning, og endelig at de igangværende klimaforandringer repræsenterede en hidtil undervurderet trussel mod menneskeheden. Det var første gang, at *Bulletin* angav klimakrisen som en eksistentiel trussel for hele menneskeheden på linje med kernevåbenkrisen.

Når det skete i 2007, hang det sammen med, at tidsskriftets bestyrelse, som havde taget vare på Dommedagsurets stilling siden Eugene Rabinowitchs død i 1973, netop på det tidspunkt havde overdraget den opgave til en bredt sammensat videnskabs- og sikkerhedskomité. En komité, der ikke alene omfattede eksperter indenfor nukleare, kemiske og biologiske våben, men også folk med specialer indenfor klima, miljø og sociale medier. Efter intense diskussioner var komiteens medlemmer – blandt andet under indtryk af højlydte advarsler fra de højt profilerede miljøfolk og amerikanske koldkrigsveteraner som de tidligere amerikanske udenrigsministre Henry Kissinger og George Schultz – blevet enige om, at man fremover var nødt til at tage lige så meget bestik af de stadig mere foruroligende forandringer i det globale klima som af de længe erkendte og frygtede farer ved

nuklear oprustning og spredning af kernevåben til flere og flere lande.

Hverken kernevåbentruslen eller klimatruslen er ifølge *Bulletins* ekspertkomité blevet mindre siden 2007. Tværtimod. Begge trusler blev da også omtalt nogenlunde ligeligt af redaktørerne, da de i 2015 begrundede, at minutviseren på Dommedagsuret blev rykket frem til tre minutter i 12. Som konsekvens af manglende handling fra ansvarlig politisk side på de nævnte eksistentielle trusler blev uret i 2017 sat yderligere et halvt minut frem, for i 2018 at blive stillet til to minutter i midnat – det tætteste uret havde været på at signalere den ultimative katastrofe, siden de første brintbombeforsøg havde fundet sted i 1952-53.

Selv om *Bulletin* i januar 2019 lod Dommedagsuret blive stående på to minutter i midnat, understregede den ansvarshavende komité, at det, der måske kunne se ud som en form for stabilitet, i virkeligheden var udtryk for "en ny abnormitet". Blandt andet på baggrund af den amerikanske præsident Trumps uforudsigelige ageren på den internationale scene fastslog *Bulletins* redaktører:

»Arkitekturen bag et halvt århundredes anstrengelser for kontrol med kernevåben fortsætter med at forfalde, samtidig med at forhandlingerne om reduktion i antallet af kernevåben og mængden af fissilt materiale er ved at visne hen. Atommagterne klynger sig til deres atomarsenaler, er opsatte på at modernisere dem og har i stigende omfang accepteret doktriner, der ikke udelukker brug af kernevåben.«

Alt dette havde skabt en farlig verden, hvor risikoen for en kernevåbenkrig var blevet alt for realistisk, konkluderede *Bulletins* videnskabs- og sikkerhedskomité. På klimafronten så det heller ikke godt ud, for den globale klimaaftale, der blev indgået i Paris i 2015, var under voldsomt pres.

100 sekunder i midnat

Endnu et år gik, uden at verdens ledere for alvor handlede på de farer, verden står over for som følge af kernevåbenoprustning og klimaforandringer. Det var ovenikøbet gået den forkerte vej, i hvert fald ifølge *Bulletins* videnskabs- og sikkerhedskomité, som den 23. januar 2020 i overværelse af journalister, fredsforskere, klimaaktivister og interesserede borgere, der livestreamede begivenheden på deres computere rundt om på kloden, flyttede Dommedagsurets store viser frem til 100 sekunder i midnat. Det nærmeste, dette ikoniske ur nogensinde har været på at markere den definitive apokalypse.

Som begrundelse for sin beslutning angav komiteen en række forhold, som skubbede viserne i den forkerte retning: For eksempel at Iran igen var begyndt at fremstille beriget uran i nye og forbedrede centrifuger, således at det måske kunne være i besiddelse af egne kernevåben i løbet af 1-2 år; at præsident Trump – trods løfter om det modsatte – ikke havde formået at få Nordkorea til at opgive sine kernevåben; at INF-aftalen var ophørt med at eksistere i 2019; og at USA ikke agtede at forlænge New START-aftalen mellem Rusland og USA, der i snart mange år havde begrænset de to supermagters strategiske kernevåbenarsenaler, ganske vist på et højt niveau. Endelig viste årets klimakonference i Madrid, at næsten alle lande var milevidt fra at opfylde de klimamål, de havde givet tilsagn om i Paris-aftalen.

I januar 2021 holdt *Bulletins* videnskabs- og sikkerhedskomité fast ved de 100 sekunder i midnat, som Dommedagsuret var blevet stillet på et år tidligere. Der kunne ellers gives adskillige gode begrundelser for at stille uret endnu længere frem, fastslog komiteen. For eksempel at udviklingen af nye nukleare våbensystemer var fortsat med uformindsket eller snarere forøget hastighed i 2020; at dette år globalt set blev det næstvarme-

ste, man endnu havde registreret; og at 2020 også var året, hvor mængden af *fake news* ifølge *Bulletin* oversteg selv de mest pessimistiske forventninger. Når komiteen alligevel valgte ikke at ændre urets stilling, skyldtes det, at der også var positive nyheder i 2020 og de første uger af 2021. Den vigtigste af disse var ubetinget Joe Bidens valgsejr og tiltrædelse som USA's præsident, for to af hans første initiativer var at forlænge New START-aftalen med Rusland indtil 2026 og at genindmelde USA i Parisaftalen fra 2015.

Ved den seneste viserindstilling i januar 2022 fastholdt videnskabs- og sikkerhedskomiteen de 100 sekunder i midnat ud fra begrundelsen, at årets positive udviklinger blev opvejet af en række uændrede eller ligefrem forstærkede negative tendenser. På positivsiden fremhævede komiteen forlængelsen af New START-aftalen, den amerikanske genindtrædelse i Parisaftalen og de strategiske nukleare samtaler mellem Washington og Kreml. Omvendt trak de vanskelige, uafsluttede JCPOA-forhandlinger, den anspændte situation ved den russisk-ukrainske grænse, Glasgow-klimamødets magre udbytte og de omfattende amerikanske, russiske og kinesiske moderniseringer af kernevåbenarsenalerne i modsat retning. »I lyset af dette blandede trusselsbillede«, konkluderede redaktionens medlemmer, »kan vi ikke sige, at verden er mere sikker, end den var på dette tidspunkt sidste år.«

I januar 2022 var *Bulletins* vurdering således, at verden befinder sig i en meget usikker strategisk situation. Den dramatiske udvikling siden da, med Ruslands invasion af Ukraine den 24. februar 2022 og den efterfølgende kolossale militære oprustning i store dele af verden som foreløbige højdepunkter, medfører med stor sandsynlighed, at Dommedagsuret i januar 2023 vil blive rykket endnu tættere på midnat. ■

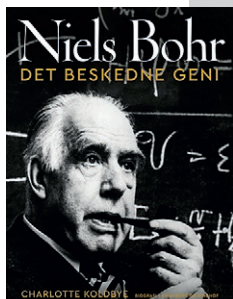


Artiklen er et let modificeret uddrag af forfatterens nye bog: *Minutter i midnat. En global historie om kernevåben*, der udkom på Aarhus Universitetsforlag i juni 2022. Bogen er på 270 sider, og heri kan findes henvisning til kilder, der indeholder de i artiklen viste citater.

BØGER

FAKTA

Charlotte Koldbye:



Bohr – det beskedne geni. Lindhardt og Ringhof 2022. 360 sider, 399,95 kr.

Bohr – det beskedne geni

Den danske fysiker Niels Bohr (1885-1962) var en af de allerstørste videnskabsmænd inden for sit felt. I 1913 præsenterede Bohr sin atommodel. Den står i dag som en af de mest banebrydende opdagelser i verdenshistorien. Den er indirekte forudsætningen for atombomben, men også for de computere, lasere og mobiltelefoner, moderne mennesker er afhængige af i dag. Al informationsteknologi er vokset ud af Bohrs opdagelse i 1913, og man anslår, at en tredjedel af verdensøkonomien hviler på kvantefysikken.

Bogen følger Niels Bohr fra vugge til grav. Den fortæller både om hans enestående indsats som videnskabsmand og leder og om Bohr som familiemenneske og om den afgørende rolle, som hans kone, Margrethe, spillede.

FAKTA

Peter Aakjær og Erik



Buch: Stormfloden 1872 – da Østersøen druknede Danmark. Forlaget Epsilon 2022. 151 sider, 325,- kr.

Stormfloden 1872

For 150 år siden oplevede Danmark en af de største naturkatastrofer i landets historie. En rekordhøj superstormflod med vandstande på over 3 meter ramte de danske østersøskyster. Stormfloden blev skabt af en intens og langvarig orkan i den vestlige del af Østersøen, der bevirkede store oversvømmelser, massive ødelæggelse og tab af næsten 100 menneskeliv på land samt endnu flere søfolk. Bogen indeholder beskrivelser af de helt usædvanlige forhold i atmosfæren og havet, der førte til denne katastrofe og giver nyt liv til de gamle beretninger og bedre indsigt i katastrofens omfang og årsager.

FAKTA

Jakob Eberhardt:



Gift – fra dødelig dosis til mirakelmiddel. FADL's forlag 2022. 248 sider, 299,95 kr.

Gift

I bogen GIFT hiver historiker og journalist Jakob Eberhardt fortællinger frem fra giftens verden, fra dødelige svampe til arsenikmord. Med afsæt i den gruopvækkende masseforgiftning af indbyggerne i den sydfranske landsby Point-Saint-Espri i 1951, bliver læseren ført igennem historiske nedslag, der er karakteriserende for særlige brug af gift – både på godt og ondt. Gift har nemlig mange anvendelser og kunne blandt andet også bruges medicinsk eller til bekæmpelse af skadedyr.

FAKTA

Kunstig intelligens bagfra og Celler deler os, Aarhus Universitetsforlag 2022. 100 sider 149,95 kr. – 99,95 kr. som lydbog.



Science Faction

Aarhus Universitetsforlag har lanceret en ny bogserie, ScienceFaction, hvor forskere over 100 sider giver en personlig beretning om deres forskningsfelt. De to første udgivelser i serien er:

Celler deler os af molekylærbiologen Lotte Bjergbæk. Den handler om cellernes fascinerende verden, men også om, hvordan kræft – og dermed cellernes ukontrollerede deling – er en uønsket følgesvend til alle flercellede organismer.

Kunstig intelligens bagfra af ekspert i sprogteknologi Anders Søgaard. Kunstig intelligens er for længst flyttet ind bag skærmene lige foran os. Hvordan ser kunstig intelligens ud "bagfra": Algoritmer tygger sig igennem millioner af data og regner baglæns for at lære af egne fejl.



Undervisningsmaterialer

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

Arbejdsark om CRISPR

Arbejdsarket knytter an til artiklen *CRISPR: Et genetisk værktøj mod sygdomme* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 5/2022 med genforsker Jacob Giehm Mikkelsen. Arbejdsarket består af fem opgaver, der spænder fra forståelse af grundlæggende begreber og koncepter i forbindelse med genteknologi og specifikt CRISPR-cas9 til diskussion af potentielle anvendelser af CRISPR-teknologien.

Arbejdsark om flagermus

Arbejdsarket knytter an til artiklen *På nattejagt med vilde flagermus* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 2/2022. Det består af fem opgaver, der for eksempel handler om at undersøge, hvad man måler med et magnetometer og et accelerometer og om at beregne, hvor mange forsøge en flagermus skal bruge på at fange et bestemt antal insekter ud fra nogle givne forudsætninger.

Arbejdsark om mikrobiomet

Arbejdsarket knytter an til artiklen *Mikrober har magt til at gøre dig syg – og holde dig rask* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 3/2021. Det ligger i forlængelse af tidligere materiale, herunder en quiz, der er lavet til denne artikel.

Artiklerne til de nævnte arbejdsark knytter alle an til foredrag i serien *Offentlige foredrag i Naturvidenskab*. Materialet er udarbejdet af projektgruppen på Viborg Katedralskole i forbindelse med projektet Brobygning på første række finansieret af Novo Nordisk Fonden.

Nye quizzer

Find nye quizzer på Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside om henholdsvis cellernes calciumkanaler og om dræbersvampen, der gør fluer nekrofile.

ABONNEMENTS-SERVICE

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

Kontakt os på telefon:
3036 0662 / 8715 2094

E-mail: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

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

Til nye abonnenter:

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

OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

Styregruppe

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

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

Layout: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S

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

Oplag: 9.300

Redaktionsgruppe

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

Redaktionen:

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

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Postadresse:

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

Omlagsfoto:

Såkaldt titansvamp, som er en porøs form for titan, som dannes i de første stadier af den proces, der bruges til at udvinde titan fra råmateriale.
Foto: Shutterstock



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

Vandflagermus (*Myotis daubentonii*), som forskerne undersøgte. Foto: Jens Rydell.



Flagermus og dødsmetal

Hvad er ligheden mellem en dødsmetal-sanger og en flagermus? De growler! Hvis du lige skal have genopfrisket, hvad "growle" betyder, er det en teknik til at få stemmen til at lyde mørk, rå og brølende. At flagermus kan growle har et forskerhold bestående af Coen Elemans, Jonas Håkansson, Cathrine Mikkelsen og Lasse Jakobsen fra Syddansk Universitet for nylig fundet ud af. Som de første har forskerne filmet, hvad der foregår inde i en flagermus' strubehoved, når den producerer lyd. Herved har forskerne identificeret de fysiske strukturer i strubehovedet, der sættes i svingninger, når en flagermus laver forskellige lyde.

Forskerne opdagede, at flagermusene kan lave lavfrekvente kald ved at bruge det, der kaldes de falske stemmelæber. Sådanne har mennesket også, og de er rent fysiologisk placeret lidt højere i struben end de rigtige stemmelæber. Når en dødsmetal-sanger growler, flyttes stemmelæberne ned, således at de kommer til at svinge sammen med stemmelæberne. Det gør stemmelæberne tunge, så de kommer til at vibrere ved meget lave frekvenser. Det er nøjagtigt det samme, flagermus gør, når de producerer lyde ved lave frekvenser – som i denne sammenhæng er frekvenser på 1-5 kHz (kilohertz).

Forskerne kan ikke med sikkerhed sige, hvad flagermusene gerne vil kommunikere, når de growler – men at det er deres artsfæller, der er målgruppen, antydes af det faktum, at flagermusene growler, når de flyver ind eller ud af en tæt pakket koloni. Ifølge forskerne virker nogle af lydene aggressive, andre kan være udtryk for irritation, mens nogle kan have en helt anden og altså endnu ukendt funktion.

Studiet afslører også, at flagermus foretager deres ekstraordinært højfrekvente ekkolokaliseringsskald ved at vibrere meget tynde stemmemembraner; strukturer, som mennesker også engang havde i strubehovedet, men som er gået tabt i vores evolution. Forskerne har filmet disse stemmemembraner med op til 250.000 billeder i sekundet, og på optagelserne kunne forskerne se mange tilpasninger i strubehovedet, som de mener, ligger bag flagermusens evne til at lave meget højfrekvente kald meget hurtigt, så de kan fange insekter, mens de flyver. Tilsammen spænder det normale stemmefrekvens-spænd for en flagermus over syv oktaver, rapporterer forskerholdet. Det er ganske bemærkelsesværdigt, da de fleste pattedyr har en rækkevidde på tre-fire oktaver, og mennesker omkring tre. Nogle sangere kan – eller har kunnet – nå en rækkevidde på fire-fem, men det er kun meget få som Mariah Carey, Axl Rose og Prince.

CRK, Kilde: *SDU/Plos Biology* <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001881>