

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL *natur* VIDENSKAB

ØLBRYGNING - *avanceret bioteknologi*

KUNSTEN at veje et sort hul

KVANTEMAGNETER – magneter når de er allermindst

HVEM er bedst? – metoder til rangering i sport og videnskab

NR. 5 - 2016 NOVEMBER : 50 KR.

Robotterne er over os

Vi er alvorligt udfordret af robotter og kunstig intelligens. Vil udviklingen give os masser af nye muligheder? Eller bliver det et robotstyret samfund – uden jobs og et liv i en falsk, virtuel verden?

Det er snart 100 år siden, at den tjekkiske forfatter Karel Capek introducerede ordet ROBOT i sit skuespil R.U.R. (*Rossumovi univerzální roboti*) fra 1920. Et udtryk, der er udledt af de tjekkiske ord "robota" og "robotník", som betyder hoveri og slave. Siden er ordet ROBOT blevet verdensseje gennem bl.a. kulørte tegneserier, bøger og spillefilm. Og så har virkelighedens robotter heller ikke levet en skjult tilværelse. De har i høj grad præget industrisamfundets masseproduktion og gjort mange produkter billigere og dermed mere tilgængelige for almindelige mennesker – i takt med, at computere og it generelt er blevet mere avanceret.

Med andre ord: Vi var ikke kommet så langt i menneskehedens udviklingshistorie, hvis ikke vi havde fået hjælp af denne slavehær af teknologiske vidundere. Det betyder, at vi er godt i gang med at sende industri- og informationssamfundet på museum, mens den digitale revolution er over os og foregår i et tempo, som de færreste forestiller sig eller umiddelbart lægger mærke til.

Terminator tager dit job

Det store spørgsmål er, om vi mennesker bliver slaver – eller nærmere ofre – for vores egne opfindelser? Er vi på vej ud ad et sidespor i verdenshistorien, når vores hjælpere bliver mere og mere selv-tænkende gennem avancerede algoritmer og dermed kunstig intelligens. Altså at robotterne kan tænke selv og fx reparere sig selv, når der er behov for det? Og vi taler ikke om en udvikling, der strækker sig over 100 år, men over måske 15 til 50 år.

Det er grunden til, at en del prominente personer råber vagt i gevær. Bl.a. Tesla-milli-

dæren Elon Musk, som mener, at kunstig intelligens potentielt er mere farlig end opfindelsen af atombomben i 1945. Musk henvi- ser bl.a. til det ultimative skrækscenarium: Terminator-filmene, hvor menneskeheden kæmper mod dødbringende cyborgs, der er styret af et intelligent netværk, mennesket selv har skabt.

Mere jordnær i sin kritik er den amerikanske it-guru og iværksætter Martin Ford, som sidste år udgav bestseller-bogen *Rise of the Robots: Technology and the Threat of a Jobless Future*. Men hans synspunkter er ikke mindre skræmmende. Ford forudsiger, at digitaliseringen vil medføre kæmpearbejdsløshed og skabe parallelsamfund, hvor afstanden mellem rig og fattig er enorm. En lille privilegeret overklasse vil få gavn af udviklingen, mens størstedelen af verdens befolkning vil stå udenfor og må nøjes med at fornøje sig i "en virtuel verden med underholdning, fantasier og sex" for at holde ledig gang og tilværelsen ud.

Og det er ikke kun praktiske job, der bliver overtaget af maskiner, ifølge Ford. En masse

akademikere vil også blive arbejdsløse. Bl.a. inden for hospitalsverdenen, blandt advokater og børsfolk, som allerede nu har overladt en god del af spekulationerne til algoritmer. Personligt går jeg heller ikke fri af "den nye verdensorden" som journalist. Ifølge prognoser vil 80-90 procent af al journalistik i 2030 – altså om kun 14 år – blive udført af maskiner.

Lys for enden af tunnelen

Men der er trøst at hente og forhåbentligt et bedre bud på "fremtidens digitale verden", end den Ford og Musk, disker op med. Ifølge rapporten *Virksomheders behov for digitale kompetencer*, som regeringen har fået udarbejdet, vil der herhjemme i 2030 mangle omkring 19.000 it-eksperter plus en masse folk med andre avancerede tekniske uddannelser. Jeg håber, at beregningen holder stik med alle disse jobmuligheder. Men udviklingen kræver også, at politikere og andre beslutningstagere får udarbejdet spilleregler for, hvordan og hvor langt det er nyttigt for os mennesker at slippe de kloge robotter og den kunstige intelligens fri. Ikke mindst i lyset af, hvad der er sket med Internettet, hvor teknologien har overhalet lovgivningen med det resultat, at meget få private firmaer såsom Google og Facebook "styrer trafikken".

Mens jeg venter på svar om, hvem der skal styre fremtidens digitale verden, vil jeg genlæse Karel Capeks roman *Krigen mod salamanderne* fra 1936. En meget tankevækkende science fiction-historie om intelligens. Og det er ikke os mennesker, der er de klogeste. Det får man allerede indtryk af i indledningen, hvor en dyrepasser i London Zoo gør rent i en kæmpesalamanders bur, mens det kloge dyr læser nyheder op fra *The Times*, så manden er velorienteret om verdens gang. ■



Svend Thaning
er journalist og pressemedarbejder
SCIENCE Kommunikation
Københavns Universitet
svt@science.ku.dk

SPONSORABONNENTER

GRUNDFOS


novo nordisk

novozymes
Rethink Tomorrow

AKTUEL NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology,
i samarbejde med:

- Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Det Naturvidenskabelige Fakultet samt Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- Roskilde Universitet
- Danmarks Meteorologiske Institut.

Styregruppe

- **Mette Christina Møller Andersen**, specialkonsulent, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Joakim Groth**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Jens D. Holbech**, chefkonsulent, Science and Technology, Aarhus Universitet
- **Mads Bendix Fjendsbo**, rektor, Viborg Gymnasium og HF
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Annette Lind**, områdeleder, chefkonsulent, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet

Redaktionsgruppe

- **Birgitte Dalgaard**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Peter Arnborg Videsen**, Viborg Gymnasium og HF
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Niels Hansen**, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Carsten Rabæk Kjaer**, Aktuel Naturvidenskab
- **Carsten Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Lene Pedersen**, Roskilde Universitet
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Svend Thaning**, Københavns Universitet

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

Ansvarshavende

Søren Rud Keiding, prodekan, Science & Technology, Aarhus Universitet

Redaktion

Redaktører Jørgen Dahlgaard og Carsten Rabæk Kjaer
Tlf.: 87 15 20 94
E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk
Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk
Postadresse: Aktuel Naturvidenskab,
Ny Munkegade 120, Bygn. 1520, 8000 Århus C

Abonnementspris 2016

294 kr. i DK for 6 numre, inkl. moms og porto.

Abonnementsservice:

Telefonnr.: 70 25 55 12
e-post: aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Layout og illustration: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S
ISSN: 1399-2309 (papirudgaven),
1602-3544 (web)
Opplag: 7.300

Omslag:

Øl i glas.
Foto: Valentyn Volkovs,
Shutterstock.com



indhold

I centrum af enhver galakse i universet findes et supertungt, sort hul. At kende den nøjagtige masse på disse sorte huller er en nøgle til at forstå, hvordan galakserne udvikler sig.

8



At brygge godt øl kræver, at man har styr på en række processer i mindste detalje, hvorfor ølbrygning er avanceret bioteknologi.

14

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 Kort Nyt
- 6 Nobelpris: Fysik i den tynde verden
- 8 Kunsten at veje et sort hul
- 14 Ølbrygning – avanceret bioteknologi
- 20 Super-Salmonella gør os klogere på tarminfektioner
- 22 Nobelpris: Molekylære maskiner - en verden af muligheder
- 26 Hvem er bedst? - metoder til rangering i sport og videnskab
- 30 Kvantemagneter - Magneter når de er allermindest
- 36 "Abehjerner" skal styre fremtidens hjem

PERSPEKTIV - DEBAT

- 2 Synspunkt
- 38 Debat: Rådyrsygen breder sig
- 41 Bøger og service: Syv små forelæsninger om fysik
- 42 Kvantebanditterne kommer
- 43 Nye undervisningsmaterialer
- 44 BAGSIDEN: Kunst og kemi i svovl-parløb

Verdens mindste magneter består af ganske få atomer. På denne skala kan vi observere mærkelige fænomener, fordi atomerne både kan opføre sig som partikler og som bølger.

30



EU's kontor for fødevarer sikkerhed har anbefalet, at mængden af kobber i foderet reduceres. Det er måske godt nyt for bestanden af rådyr, da der stadig er grund til at mistænke zink og kobber for at medvirke til den såkaldte rådyrsyge.

38

Nyt laboratorium til farlige forsøg

Eksplosive kortslutninger ved dødbringende høj elektrisk spænding, som med et brag sender glødende kobber i alle retninger. Det er så tilpas farlig forskning, at Aalborg Universitets Institut for Energiteknik nu åbner et nyt laboratorium i en særligt afskærmet bygning til det risikofyldte formål.

Det nye MV lab (*Mellemspændingslaboratoriet*) i Aalborg skal bl.a. bruges til at teste effektelektronik til fremtidens store havvindmøller under forsvarlige forhold. Højere spænding betyder lavere effekttab og mindre vægt.

Inde i bygningen er der et fuldt afskærmet og eksplosionssikret testrum på 60 kvadratmeter med højt til loftet og et særligt vandbaseret kølesystem. Forskerne kan styre og følge forsøgene fra et særskilt kontrolrum, hvor der ud over en masse måleudstyr også er sikkerhedslåsesystem og automatisk sikkerhedsjording. "Sikkerhed" er i det hele taget et gennemgående ord i specifikationerne. Men hvis man skal teste, om sikkerheden virker, er man nødt til at gøre noget farligt.



»Hvis vi får en dårligt designet enhed til test i laboratoriet, og den sprænger i luften, skal vi være sikre på, at det sker på en måde, så vi bare kan lukke røgen ud, feje gulvet og lave et nyt design,« siger professor Claus Leth Bak, som sammen med underleverandører har stået for det tekniske design.

Det første nervepirrende øjeblik i det nye laboratorium kom, da de 20 kV fra distri-

butionsnetværket skulle forbindes til laboratoriet. Det gik som planlagt og udløste kun en kraftig brummen fra den store specialbyggede transformator. Den næste mere alvorlige test var et forsøg, som var designet til at gå

galt. Forskerne lavede et kortsluttet kredsløb, hvor de forbandt to elektriske faser direkte til hinanden med en to meter lang ledning. Så tog de mod til sig og trykkede på knappen, umiddelbart efter at en af teknikerne fra elforsyningen havde sat sin mobiltelefon til at filme udfaldet i slow motion.

»Det udløste et meget højt brag, som kunne høres i adskillige kontorer rundt om på Institut for Energiteknik. Kort efter kom brandvæsnet med udrykning, men det skyldtes heldigvis bare, at testrummets brandsensorer var for følsomme til formålet. Bortset fra det virkede alt, som det skulle. Videoptagelsen fra eksplosionen viser glødende kobber, som bliver kastet rundt i lokalet (billedet), så det understreger behovet for en sikker testfacilitet til den type forsøg,« fortæller Claus Leth Bak.

Af Carsten Nielsen, Aalborg Universitet

Bonoboer har brug for læsebriller

Rigtig mange mennesker oplever, at kunsten at læse det med småt bliver sværere med alderen. I en periode kan man måske kompensere ved at holde teksten ud i stadig mere strakt arm, men til sidst går den ikke uden at investere i et par læsebriller. At fysiologiske funktioner i en vis grad degenererer med alderen virker som en meget naturlig ting, men faktisk har man hidtil ikke vist, om aldersbetinget "langsyn" er noget vi deler med vores nærmeste slægtninge. Nu har Heungjin Ryu fra Universitetet i Kyoto fremlagt de første beviser på, at aldersbetinget langsynethed også forekommer hos bonobo-aber, som er *Homo sapiens* nærmeste slægtning. Ryo og hans kolleger fotograferede en gruppe på 14 vildtlevende bonoboer, der aldersmæssigt spændte fra 11



Bonobo Ten soignerer et medlem af sin gruppe. Ten er med sine 45 år gruppens ældste, og hans øjne kræver 40-45 cm's afstand til fingrene for at kunne fokusere på opgaven. Foto: Heungjin Ryu.

til 45 år. Forskerne fokuserede på situationer, hvor aberne soignerer hinanden, som er en

udbredt beskæftigelse blandt aber og som kræver nøje inspektion af pelsen. Det viste sig, at kigge-afstanden – målt som afstanden mellem øjne og fingre – var signifikant længere i ældre individer end i yngre. Desuden viste sammenligninger af fotos af en af aberne, som forskerne kaldte Ki, at afstanden var øget fra ca. 12 cm til 17 cm fra 2009 til 2015.

Resultatet tyder altså på, at aldersbetinget langsynethed hos primater er – ja, netop aldersbetinget, og ikke fx en konsekvens af unikke menneskelige aktiviteter som at læse eller glo på skærme.

CRK. Kilde: *Current Biology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2016.09.019>.

Venus - nu med flere svovloxider

Planeten Venus har en for mennesker yderst fjendtlig atmosfære med et tykt skylag bestående af svovlforbindelser – primært svovlmonooxid (SO) og svovldioxid (SO₂). Siden 1970'erne har man været klar over, at Venus' atmosfære absorberer lys fra Solen i området omkring 320-400 nanometer (ca. svarende til UV-stråling). Det har givet forskerne hovedbrud, idet man ikke har kunnet finde ud af, hvilket molekyle i Venus' atmosfære, der absorberede strålingen i dette frekvensområde. Men nu har professor Henrik Kjærgaard og hans team på Kemisk Institut, Københavns Universitet måske løst mysteriet. I en ny afhandling i tidsskriftet *Geophysical Research Letters* argumenterer de ud fra beregninger med en kvantemekanisk model for, at det relevante molekyle er svovloxyd S₂O₂. Som formelen viser, består dette molekyle af to svovlatomer og to oxygenatomer, og i Venus' atmosfære kan det optræde i to



Billede af strukturer i Venus' skydække taget med Pioneersonden tilbage i 1979. Foto: NASA

forskellige varianter (isomerer). På Jorden findes denne gasart ikke naturligt, men på Venus optræder den i de øverste skytag tilsyneladende i lige så høje koncentrationer som svovlmonooxid, som anses som det næst-

mest almindelige svovloxyd på Venus.

Hvis forskernes hypotese er korrekt, kan resultaterne hjælpe forskere med at forstå Venus' svovlkredsløb, som er en vigtig komponent i at forstå vejret på Venus. Venus er med en overfladetemperatur på hele 470 °C den varmeste plante i Solsystemet, hvilket bl.a. skyldes at det tykke skydække hjælper med at holde på varmen.

En endelig bekræftelse af de to nye svovloxider som værende den hidtil ukendte UV-absorber i Venus atmosfære vil kræve en direkte måling fra en rumsonde i kredsløb om planeten. Mens vi venter på det, vil Kjærgaard og hans gruppe forsøge at skabe svovlforbindelsen i deres eget laboratorium for at måle på molekylets egenskaber.

CRK, Kilde: KU samt *Geophysical Research Letters*: DOI: 10.1002/2016GL070916.

Evolutionens veje er uransagelige

Ganske vist bygger evolutionen på tilfældigheder, men hidtil har videnskaben troet, at der var et vist system i rodet – at mutationerne i DNA'et generation for generation følger nogle typiske mønstre. Men nej. En ny undersøgelse af sydamerikanske fugle viser, at evolutionen er ganske uberegnelig.

En gruppe forskere fra tre amerikanske og ét dansk universitet (Aarhus) har analyseret hæmoglobinet hos fuglearter, som alle er tilpasset livet i Andesbjergenes iltfattige højder. Hæmoglobin er et protein, som sørger for at bringe ilt rundt i blodbanerne, og hos mange bjerglevende dyrearter er hæmoglobinet særligt effektivt til at binde ilt i den tynde luft.

Forskerne ville undersøge den nærliggende hypotese, at evolutionen må have ført de forskellige fuglearter i Andesbjergene gennem nogle af de samme mutationer, hvis deres hæmoglobin har de samme biokemiske egenskaber. Og da de ville undersøge ændringer i både hæmoglobinet funktion og dets genetiske egenskaber, var forsker-

ne nødt til at sammenligne hæmoglobin fra både fugle, der lever i bjergene, og fugle, der lever i lavlandet. Ergo fandt og fangede de 28 nært beslægtede par fuglearter, som lever i forskellige højder.

Som ventet er hæmoglobinet hos alle af de 28 bjerglevende fuglearter væsentligt bedre til at binde ilt end hos tilsvarende fuglearter i lavlandet. Men da forskerne undersøgte, om denne effektivisering af iltbindingen skyldes genetiske mutationer på de samme steder hos alle de 28 arter, blev deres hypotese afkræftet. I stedet så de, at en bedre iltbinding kan opstå ved mange forskellige mulige kombinationer af mutationer i hæmoglobinet DNA og dermed udskiftninger i de aminosyrer, som proteinet bygges af. Ingen af mutationerne er opstået på de få kritiske steder, der påvirker præcist de steder på proteinet, hvor ilt bindes – og hvor man hidtil har troet, at mutationerne opstod.

»Det betyder, at effekten af mutationer ikke kan forudses. Mutationer på kritiske steder er sandsynligvis skadelige for proteinets



Chimborazo-kolibrien lever i iltfattige højder på 3.500 til 5.200 meter over havet i Andesbjergene.

funktion og derfor ikke selekteret under evolutionen. Vores studie viser, at der derimod bliver selekteret for mange forskellige aminosyre-substitutioner, som hver især bidrager med små ændringer i evnen til at binde ilt. Evolutionen går i dette tilfælde med små skridt og ikke med store hop,« forklarer professor Angela Fago fra Institut for Bioscience på Aarhus Universitet.

Peter F. Gammelby, Aarhus Universitet.

Fysik i den tynde verden

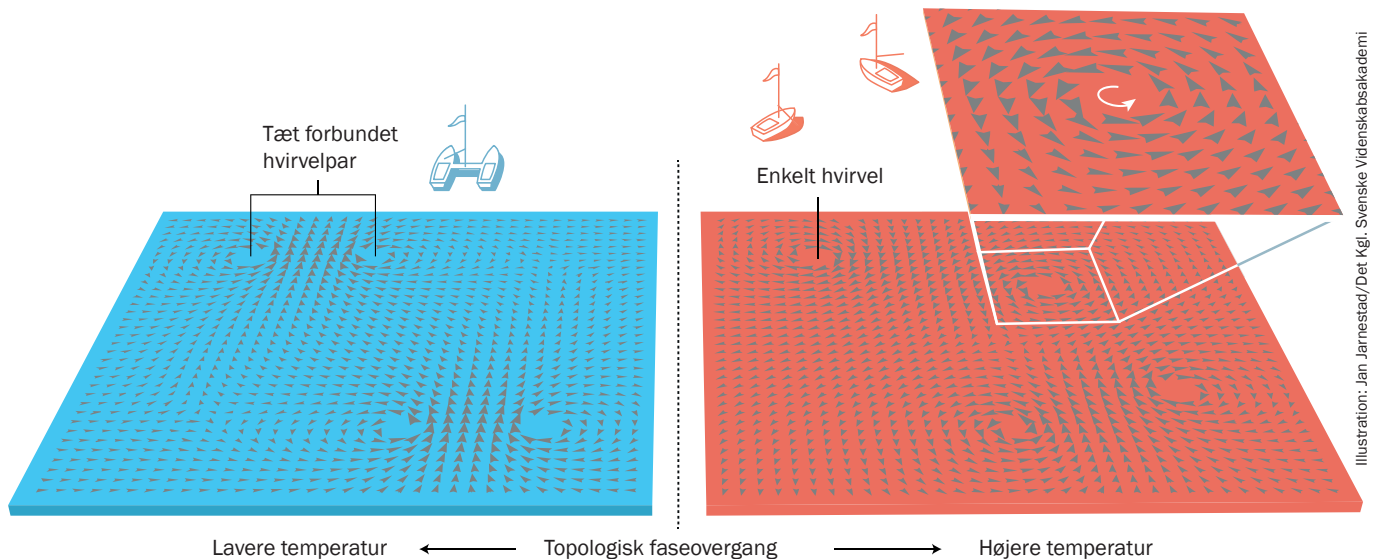


Illustration af en topologisk faseovergang i et ultratyndt og meget koldt materiale. Når det er tilstrækkeligt koldt dannes hvirvelpar i materialet. Ved stigende temperatur adskilles disse pludseligt igen, når temperaturen for en faseovergang er nået.

Arets Nobelpris i fysik er et godt eksempel på, hvordan anvendelsen af matematiske koncepter i fysikken kan betyde et gennembrud i forståelsen af fysiske fænomener. De tre pristagere Michael Kosterlitz, David Thouless og Duncan Haldane har brugt metoder fra en gren af matematikken kaldet topologi til at studere usædvanlige tilstande i materialer som superledning, superflydning og magnetisme i tynde film. Netop anvendelsen af topologi har været afgørende for deres opdagelser og gennembruddet i forståelsen af disse eksotiske fænomener.

Topologi beskriver egenskaber, som forbliver intakte når et objekt strækkes, vrides eller deformeres – men ikke hvis det rives fra hinanden. Hvis fx to geometriske former flydende kan deformeres over i hinanden, uden at der er behov for at skære eller lime, har de samme topologi. En badebold kan fx ikke deformeres over i en badering, og derfor er hullet i baderingen en afgørende underliggende egenskab. Man kan desuden indse, at antallet af huller kun kan vokse i heltallige trin.

Faseovergange i den todimensionale verden

Når materialer ændrer egenskaber, taler man om faseovergange, hvor overgangen

mellem flydende og fast form er et velkendt eksempel. Nobelpristagerne har været i stand til at vise, at eksotiske fænomener, der optræder når materialer bliver ekstremt tynde og dermed næsten todimensionale, kan forklares ved såkaldte topologiske faseovergange i materialerne. I denne tynde verden observerer man helt andre fysiske fænomener end i hverdagen, fordi kvantemekaniske effekter bliver dominerende.

I 1970'erne demonstrerede Kosterlitz og Thouless, at superledning kan forekomme i tynde film ved meget lave temperaturer (nær det absolutte nulpunkt). På det tidspunkt troede man ikke, at dette var muligt, fordi man antog, at termiske fluktuationer ville ødelægge al orden i de todimensionale materialer. Kosterlitz og Thouless forklarede den mekanisme, der får superledningen til at forsvinde ved højere temperaturer, som en topologisk faseovergang, hvor hovedrollen spilles af små hvirvler i det tynde materiale. Ved lave temperaturer danner hvirvlerne tæt forbundne par. Når temperaturen stiger, sker der en faseovergang, hvor hvirvlerne pludselig bryder deres tosomhed og driver væk fra hinanden i materialet.

I 1980'erne var Thouless i stand til at forklare tidligere eksperimenter med meget

tynde elektrisk ledende lag, hvori ledningsevnen var blevet meget præcist målt til at optræde i heltallige trin. Han viste, at disse heltallige trin var topologiske i deres natur. På omtrent samme tidspunkt opdagede Duncan Haldane, at topologiske koncepter også kan bruges til at forstå egenskaberne af kæder af små magneter fundet i visse materialer.

Det kan bruges til noget

Nobelpristagernes arbejde har været med til at åbne døren til en helt ny verden. I dag kender vi mange topologiske faser, ikke kun i tynde lag og tråde, men også i almindelige tredimensionale materialer. Der er stor interesse i at studere disse materialer og fænomener, ikke mindst fordi topologiske materialer virker lovende til brug i de nye generationer af elektronik og superledere – og måske også i fremtidens kvantecomputere.

CRK, Kilde: Nobelprize.org/Strange-phenomena-in-matter's-flatlands.



MIN NYE VERDEN

INSPIRATIONSdag FOR GYMNASIELÆRERE

Er du underviser i naturvidenskab eller matematik på de gymnasiale uddannelser? Så inviterer Københavns Universitet dig til gratis inspirationsdag d. 2. februar 2017.

Inspirationsdagens tema "Min nye verden" tager dig igennem en række spændende foredrag og workshops, som kan inspirere dig i din egen undervisning.

Universitetets topforskere vil tale om så forskellige aktuelle emner som omvendt fotosyntese, nye vaccineteknologier, kvantekemiske beregninger og grønlandsk mudder som middel til at sikre verdens fødevareforsyning.

I dagens 8 workshops kan du bl.a. komme til at arbejde med temaer som epigenetik, fup og fakta om kosttyper, big data og datalogi i gymnasieundervisningen eller undersøgelser med neutroner og røntgenstråling i de nye svenske anlæg ESS og MAX IV.

Inspirationsdagen finder sted d. 2. februar 2017. Deltagelse er gratis, og tilmelding sker efter først til mølle-princippet.

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

KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET



KUNSTEN AT VEJE ET SORT HUL

Om forfatterne
Marianne Vestergaard
Dark Cosmology Centre,
Niels Bohr Institutet
vester@dark-cosmology.dk
Carsten R. Kjaer,
Aktuel Naturvidenskab


**DET FRIE
FORSKNINGSRÅD**
DANISH COUNCIL
FOR INDEPENDENT
RESEARCH

Artiklen bringes i samarbejde med Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers.

Det Frie Forskningsråd dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Det Frie Forskningsråd består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence. Formand for Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers er professor ved Danmarks Tekniske Universitet, Lone Gram. Læs mere på detfrieforskningsraad.dk

I centrum af enhver galakse i universet findes et supertungt, sort hul. At kende den nøjagtige masse på disse sorte huller er en nøgle til at forstå, hvordan galakserne udvikler sig. Derfor er forskerne meget interesserede i at forfine kunsten at "veje" et sort hul.

Tænk på fænomenet "sorte huller", og fantasien kommer straks på overarbejde. For hvordan forestiller man sig et objekt så kompakt, at fx hele Jorden ikke ville fylde mere end en sukkerknald, hvis dens masse blev presset sammen til en tæthed svarende til et sort hul?

I virkeligheden er vores fantasi dårlig udrustet til at visualisere et fænomen som et sort hul. Nok kan vi finde dramatiske illustrationer af sorte huller på nettet, men fælles for sådanne illustrationer er, at alt det dramatiske på illustrationerne ikke viser selve det sorte hul, men det der foregår udenfor det sorte

huls grænse, som også kaldes begivenhedshorisonten. Det sorte hul kan vi dårligt illustrere på andre måder end som en sort klat på en sort baggrund. Ikke engang lys kan undslippe et sorts huls tyngdekraft, og derfor er der ikke noget at "se" – ikke engang med de største teleskoper, vi kan pudse på dem.

Siden sorte hullers eksistens blev forudsagt med Einsteins relativitetsteori, er der gjort mange observationer, der har overbevist forskerne om, at sorte huller er en realitet. Forskerne mener således i dag, at sorte huller i mange forskellige størrelser er vidt udbredte i galakserne i universet. Alle galakser har mindst

et sort hul, som findes i centrum af galaksen – således også i vores egen galakse Mælkevejen. Dette sorte hul kaldes Sagittarius A*. De supertunge sorte huller i centrum af galakserne er samtidig de største sorte huller, vi kender, og de er i et astrofysisk perspektiv meget interessante, fordi de har væsentlig indflydelse på, hvordan deres værtsgalakser og galaksernes omgivelser udvikler sig. Dermed har de også betydning for, hvordan, hvor og hvornår planeter og liv i universet opstår.

De supertunge sorte hullers vekselvirkning med deres omgivelser afhænger grundlæggende af, hvor

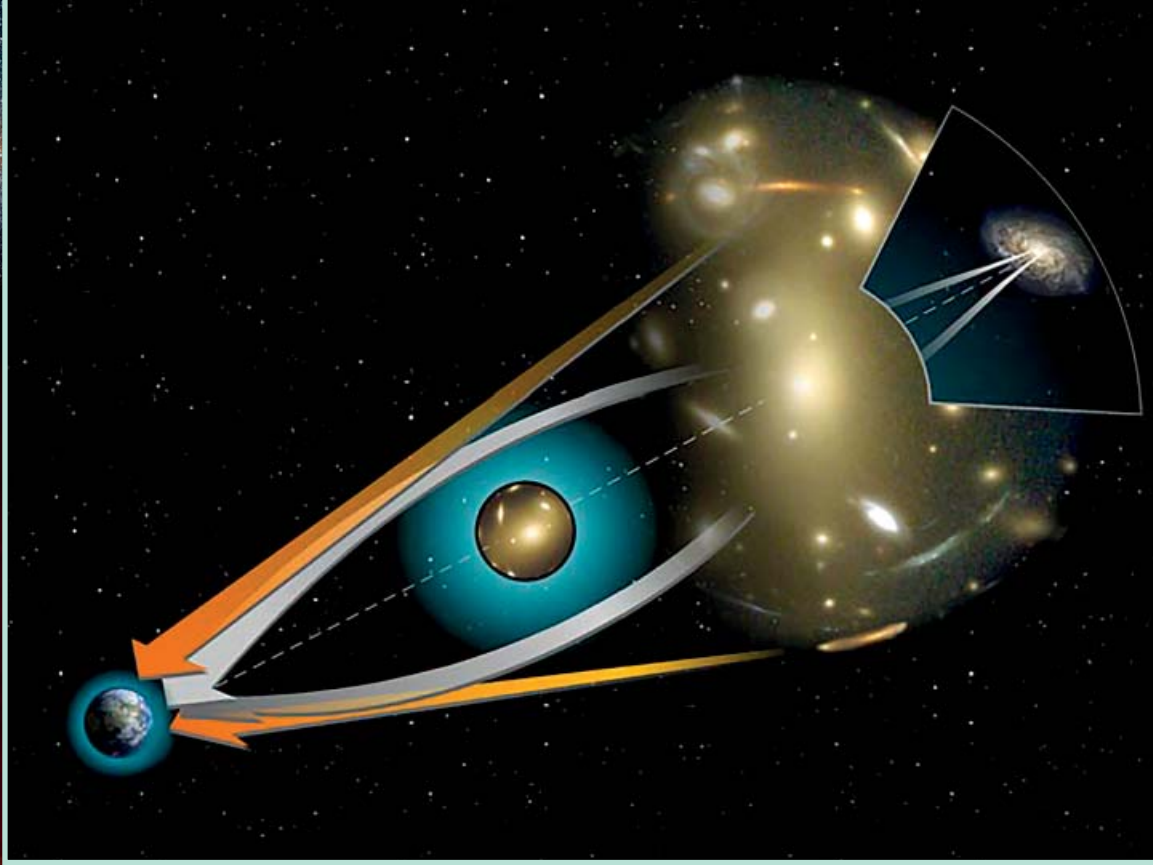


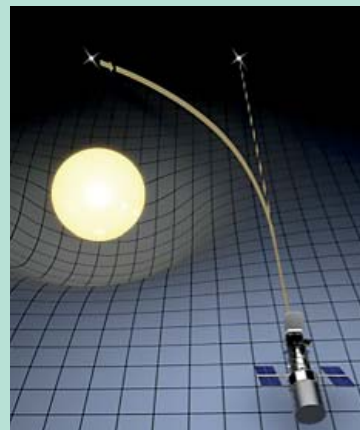
Illustration af den gravitationelle linseeffekt, der afbøjer lys fra en fjern kilde omkring et tungt objekt. De orange pile viser den tilsyneladende position af lyskilden set fra Jorden, mens de hvide pile viser lysets vej fra den virkelige position. Illustration: NASA

Foto: NASA/JPL-Caltech

meget masse de indeholder – altså hvor meget, de vejer. For det sætter energiskalaen for de fysiske processer, der opstår, når det sorte hul “sluger” gas fra sine omgivelser. Derfor vil forskerne gerne kende de sorte hullers masse så præcist som muligt. I dag er man i stand til at måle massen af de sorte huller med en nøjagtighed på en faktor 3-4. Den nøjagtighed har den ene af artiklens forfattere, Marianne Vestergaard, tænkt sig at forbedre i et projekt støttet af Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers. Helst skal nøjagtigheden blive bedre end en faktor 2, hvilket i overført betydning vil kaste mere lys over disse gådefulde objekter i universet.

Rummets krumning og sorte huller

Sorte huller er en konsekvens af Einsteins relativitetsteori, hvori rummet og tyngdefeltet opfattes som to sider af samme sag. Det betyder, at rummet krummer omkring alt, der har masse – også du og jeg. Jo mere masse, og jo større tæthed af massen, desto mere krummer rummet. Rummets krumning bestemmer, hvordan lyset og himmellegemerne bevæger sig. Alting, også lys, bevæger sig i en lige linje i rummet. Men når rummet krummer, vil det for en observatør – fx her på Jorden – se ud som om lyset bliver afbøjet, når det passerer et tungt objekt. Omkring sorte huller krummer rummet så voldsomt, at man i praksis kan se, hvad der er bagved det sorte hul – det kalder man den gravitationelle linseeffekt. Lys, der passerer tæt forbi det sorte hul bliver også rødforskudt – dvs. energien af lyset sænkes kraftigt.



Grafik: NASA/HST

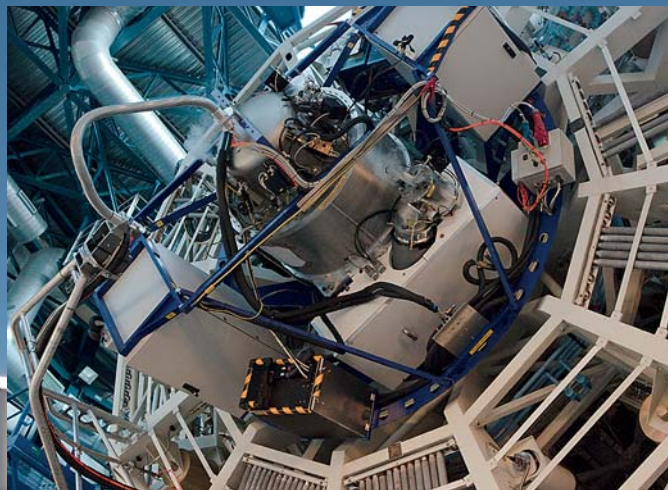
En anden måde at snakke om masse og tyngdefeltet på er ved at angive den undvigelseshastighed, der skal til for at overvinde tyngdefeltet fra en given masse. Hvis vi fx vil sende en raket ud rummet fra Jorden, skal raketten opnå en hastighed, der gør den i stand til at undvige Jordens tyngdefelt – det kræver en hastighed på ca. 11 km/s. Jo mere masse, der er presset sammen indenfor det samme rumfang, jo større bliver undvigelseshastigheden. Når undvigelseshastigheden overstiger lysets hastighed, har vi et sort hul. Den afstand fra hullets centrum, hvor dette sker, kaldes begivenhedshorisonten eller Schwarzschild-radius, og det er givet ved formlen:

$$R_s = 2GM_{sh}/c^2$$

Hvor G = gravitationskonstanten, c = lysets hastighed og M_{sh} = massen af det sorte hul

Marianne Vestergaard

Marianne Vestergaard er astrofysiker og lektor ved Dark Cosmology Centre på Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet. Marianne er en del af en international forskningsgruppe, som i mange år har studeret supertunge sorte huller i centrene af galakser. Hun deltager bl.a. i flere samarbejder med forskere primært i USA til at undersøge fysikken af de processer, der sker i de centrale dele, når de sorte huller "spiser" og vokser sig større. Marianne har selv udviklet metoder til at bestemme massen af sorte huller i fjerne galakser, og sammen med hendes forskerhold i København arbejder hun nu med en bevilling fra Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers på at forbedre disse og relaterede metoder. Derudover arbejder holdet også på at forbedre forståelsen af de fysiske processer, de sorte huller er involveret i. På fotoet ses hun foran Very Large Telescope (VLT) i Chile.



Instrumentet X-shooter er delvist bygget ved Niels Bohr Institutet og er installeret på et af de fire 8-meter store Very Large Telescope ved det Europæiske Sydobservatorium i Chile. Det udmærker sig ved at kunne observere over et bredt energiområde fra det infrarøde til det optiske område. Foto: ESO



Små og store sorte huller

Den relevante måleenhed for sorte huller er "solmasser". En solmasse er i en jordnær målestok et kæmpestort tal, idet en solmasse svarer til ca. 10^{30} kg. Den nedre grænse for størrelsen af et sort hul er ca. 3 solmasser. Sorte huller med en masse mellem 3 og ca. 100 solmasser regnes for "små". Disse kaldes også stellare sorte huller, og de dannes, når en stor, tung stjerne har opbrugt alt sit brændstof i centret. Når stjernen slukkes, bæres det tilbageværende materiale i kernen ikke længere oppe af forbrændingens varme og bryder derfor sammen under sin egen vægt. Grænsen for, hvornår dette skaber et sort hul, er når massen i kernen overstiger ca. tre solmasser.

Er stjernen mindre, kan den i stedet ende sine dage som en såkaldt neutronstjerne, som også er et meget kompakt objekt, men slet ikke i samme grad som et sort hul.

I den anden ende af vægtklassen er det største sorte hul, man hidtil har opdaget, på ca. 10 milliarder solmasser.

Størrelsen (udstrækningen) og vægten af sorte huller hænger nøje sammen, idet størrelsen af et sort hul er givet ved den radius af en fiktiv kugleflade, som en given masse skal presses sammen indenfor, for at det kræver lysets hastighed at undslippe tyngdekraften fra kuglefladen. Denne radius kaldes begivenhedshorisonten

(eller Schwarzschild-radius). For en masse svarende til Jordens vil den samlede udstrækning af det sorte hul således være på 18 mm.

I forhold hertil kan de supertunge sorte huller i centrum af galakserne have en udstrækning på flere milliarder km. I en kosmisk målestok, hvor forskerne måler afstande i lysår, er det på ingen måde et stort objekt: Det største sorte hul har i denne målestok en udbredelse på ca. 50 lysår – mens en galakse som Mælkevejen har en udstrækning på ca. 100.000 lysår.

Signal fra de sorte huller

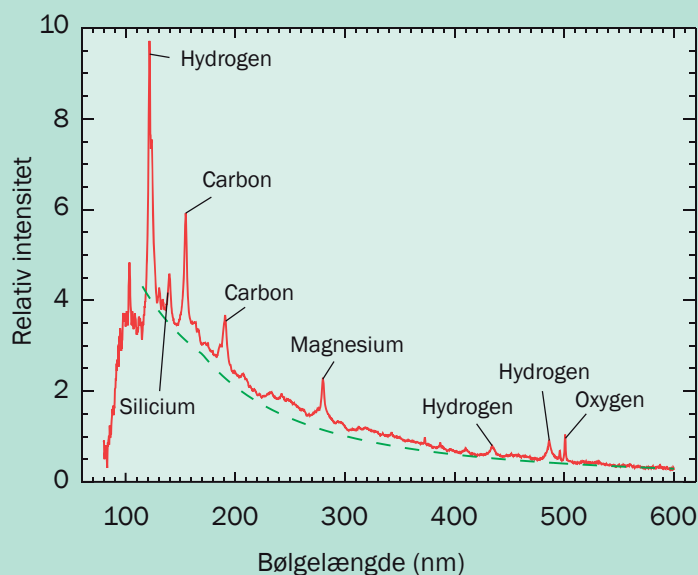
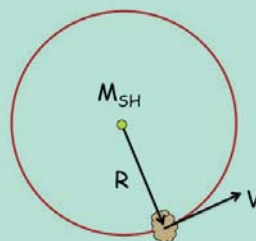
Det er vigtigt at bemærke, at et sort hul ikke er en konstant størrelse. Når et sort hul er dannet,

Massebestemmelse af det centrale tunge sorte hul i aktive galakser

Når gas bevæger sig i stabile baner omkring det sorte hul, kan man beregne den masse, der ligger indenfor gassens bane-radius, R . Det skyldes, at den acceleration V^2/R , som gassen har i sin bane, forårsages af tyngdeaccelerationen fra det sorte hul, $F_g/m = M_{sh} G/R^2$, hvor F_g er tyngdekraften og m massen af gassen:

$$M_{sh} = v^2 R / G,$$

hvor M_{sh} = massen af det sorte hul, v = gassens hastighed i banen, R = gassens afstand til det sorte hul, og G = gravitationskonstanten.



Kurverne viser et typisk UV-optisk spektrum fra en aktiv galaksekerne. Den grønne kurve er såkaldt kontinuummmission udsendt fra tilvækstskiven omkring det sorte hul. Den røde kurve viser karakteristiske kraftige emissionslinjer, som stammer fra gas, der befinder sig længere væk fra det sorte hul. Linjernes bølgelængde afslører den kemiske sammensætning og ioniseringen af gassen, og bredden af linjerne afslører hastigheden. Den er så høj som 2.000 - 10.000 km/s på nær oxygen-linjerne vist her, som stammer fra gas en del længere væk fra det sorte hul end gassen, der danner de andre linjer.

kan det vokse sig større ved at opsluge gas fra dets omgivelser eller ved at smelte sammen med et andet sort hul. Faktisk er den slags begivenheder vigtige for forskerne, for når de sorte huller fortærer materiale, giver de sig populært sagt til kende. Det sker i form af kraftig stråling, som udsendes fra den gas, der opsluges. Når gassen kommer tæt på det sorte hul, bremses den og varmes derved op pga. gnidningsmodstand og gassen lyser kraftigt. De sorte huller, som forskerne kan "se" er altså dem, der er i færd med at fortære gas fra deres omgivelser. Det mere generelle udtryk for dette fænomen for tunge sorte huller er "aktive galaksekerner", som forskerne observerer i en mindre brøkdel af de mest

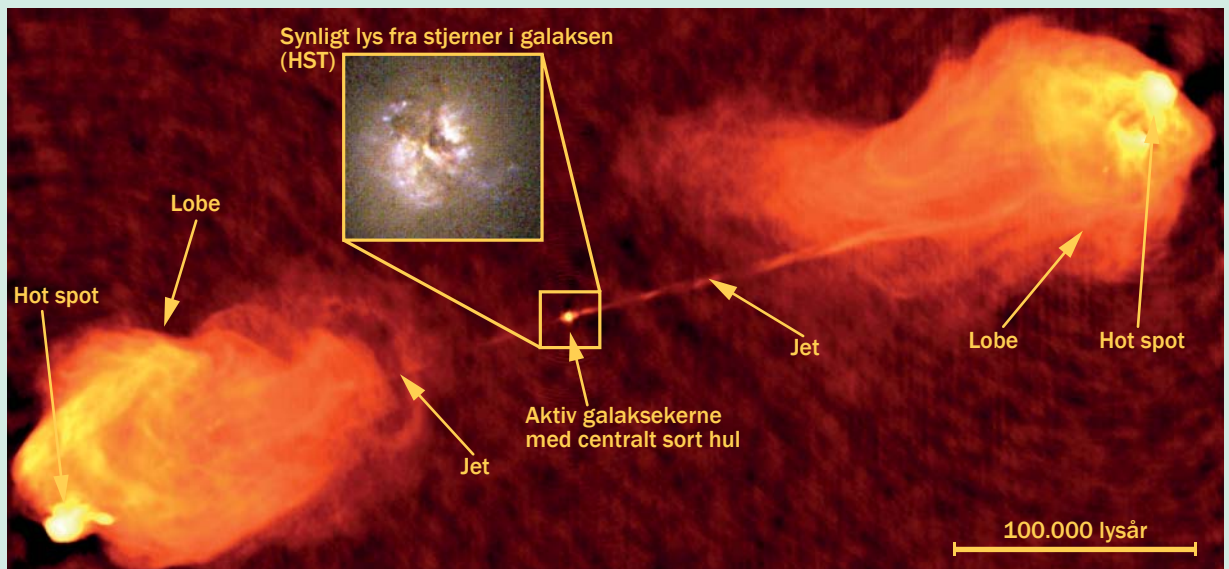
lysstærke galakser i universet. De allermest lysstærke af de aktive galaksekerner kaldes kvasarer, og de lyser så kraftigt, at de kan ses i de allerfjerneste galakser, som er dannet meget tidligt i universets historie – kun 700-800 mio. år efter Big Bang.

At veje ting i verdensrummet

Når man skal måle massen af et objekt i universet, må man gøre det ud fra den tyngdepåvirkning, det udøver på andre objekter. Man kan altså veje et sort hul ved at måle på, hvordan stjerner eller gas bevæger sig rundt om det. Hvis vægten skal være nøjagtig, skal man måle på gas, der ligger så tæt på det sorte huls begivenhedshorisont som muligt. Det er fordi banebevæ-

gelserne er påvirket af al massen inden for den radius, hvor man måler. At bestemme massen af netop det sorte hul i centrum af en normal galakse kræver derfor stor rumlig opløsning i observationerne. Man kan derfor kun bruge denne metode til at undersøge galakser, der ligger relativt tæt på os. Fx har forskere ud fra undersøgelser af stjerners bevægelse omkring det supertunge sorte hul i centrum af Mælkevejen bestemt dets masse til at være ca. 4 millioner solmasser.

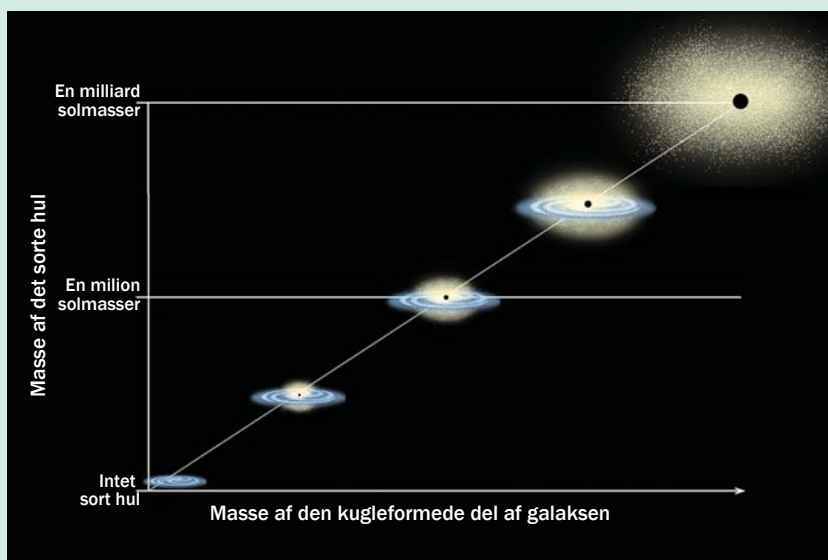
I fjerne galakser er det kun sorte huller i aktive galaksekerner, man kan veje, fordi man der kan bruge en helt anden metode, der ikke kræver en stor rumlig opløsning. I stedet studerer man spekteret af



Når sorte huller opsluger gas fra deres omgivelser, påvirker de stærkt deres omgivelser – fx ved at udsende energirig stråling eller jets af plasma eller tæt molekylgas. Et af de mere spektakulære eksempler er store jets af plasma (der primært består af elektroner og protoner, accelereret til hastigheder nær lysets),

som strækker sig til en afstand på flere gange udstrækningen af stjernelyset i galaksen. Disse jets udsendes fra centret af blot 10 % af aktive galaksekerne og kvasarer, i dette tilfælde fra galaksen Cygnus A.

Foto: NRAO/AUI/STScI/NASA



Observationer har afsløret et næsten konstant masseforhold mellem den kugleformede del af galakser og det supertunge sorte hul, de huser. Tilsyneladende foregår der en "massemæssig" tilpasning, dvs. en fysisk vekselvirkning, mellem det sorte hul og galaksen selv. Det er interessant, da der er tale om objekter på meget forskellige størrelses-skalaer – få lystimer for det sorte hul i forhold til måske 100.000 lysår eller mere for hele galaksen.

Credit: K. Cordes & S. Brown (STScI)

udsendt stråling fra to regioner nær det sorte hul, og hvordan disse to typer stråling varierer over tid. Den ene type stråling kommer fra gas, som ligger i en såkaldt tilvækstskive omkring det sorte hul og som støt og roligt bevæger sig mod hullet. Den anden type stråling ses som meget brede og kraftige emissionslinjer i den aktive galaksekerne spektrum. Den kommer fra gas, der ligger længere væk fra hullet

og som bevæger sig i rasende fart omkring det. Da lyset fra denne gas er en smule forsinket – svarende til lysets rejsetid fra skiven til gassen – men ellers varierer i tid på samme måde, kan man på denne måde bestemme gassens afstand til det sorte hul. Og da bredden af emissionslinjerne afslører gassens hastighed, kan man ud fra disse oplysninger beregne massen af det sorte hul.

Styr på gassens hastighed

Netop måling af gashastigheden er en af de største udfordringer i forhold til at forbedre nøjagtigheden af massemålinger af sorte huller. Aktive galaksekerne befinder så langt væk, at vi ikke kan opløse rumligt geometrien og hastighedsstrukturen af den gas, vi måler på. Til massemålinger har vi kun brug for at kende hastigheden af den del af gassen, som bevæger sig

i stabile baner omkring det sorte hul. Men med de traditionelle målinger kan man ikke isolere den hastighedskomponent, man ønsker. Man kan altså ikke se, om dele af gassen i centret er på vej ind mod det sorte hul eller på vej væk derfra, skubbet af den kraftige og energirige stråling. Og det gør massemålingerne mindre nøjagtige.

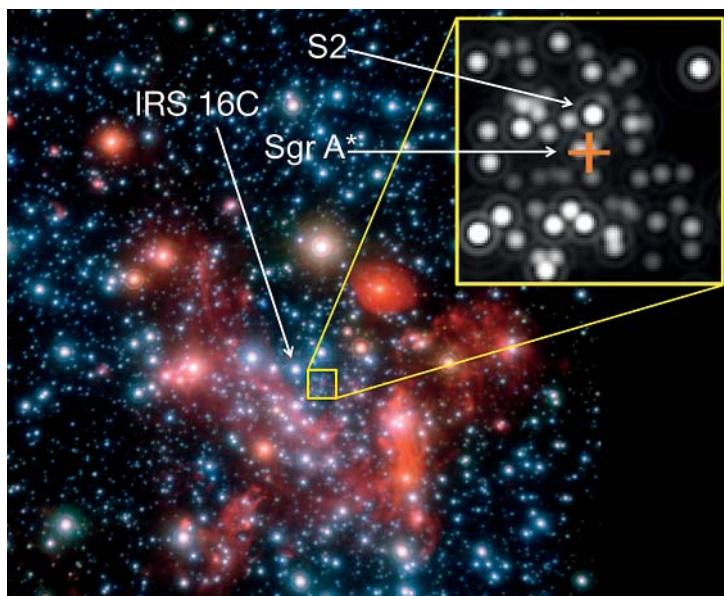
I forskningsprojektet vil vi tackle denne udfordring ved at etablere de mest sandsynlige hastighedsstrukturer af gassen ved at analysere højkvalitetsdata på en ny måde. De er bl.a. optaget med *Swift*-satellitten og med X-shooter-instrumentet, som delvist er bygget ved Niels Bohr Institutet og er installeret på et af de fire 8-meter store Very Large Telescope ved det Europæiske Sydobservatorium i Chile.

Vi er i gang med et større studie med *Swift* af en stor mængde kvasarer, som er foretaget igennem det danske *Swift*-program støttet af Instrumentcentret for Dansk Astrofysik. Det er et vigtigt del-program, hvor vi kortlægger, hvor hurtigt det sorte hul spiser og bestemmer egenskaberne af den centrale energikilde i den aktive galaksekjerne, som det sorte hul er en del af. Fx vil vi undersøge, om energikilden er i stand til at skabe "vinde" fra tilvækstskiven, som omgiver det sorte hul. Det har nemlig betydning for hastighedsfeltet, vi forsøger at bestemme. Det kan sammenlignes med at tage pulsen og et hjertekardiogram af det sorte hul og dens umiddelbare omgivelser.

Modeller og målinger

I projektet samarbejder vi med forskere ved Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics i USA og Leicester University i England om at udvikle nye numeriske metoder til at skabe sandsynlige fysiske modeller af hastighedsfeltet af gassen, der benyttes til massebestemmelser.

Metoderne bygger bl.a. på nye avancerede tilgange til at analysere vores observationsdata, så vi får



indsigt i geometrien, hastighedsstrukturen og hældningen (i forhold til vores synslinje) af gasregionen, der skaber de kraftige emissionslinjer, som vi måler på. Ved at sammenligne vores målinger på modellerne af det samlede hastighedsfelt med observationer kan vi finde frem til, hvilke hastighedsfelter der er mest sandsynlige at finde i aktive galaksekerner. Derefter vil vi benytte vores fysiske modeller af gasregionen til at isolere den ønskede hastighedskomponent og bestemme en mere nøjagtig masse af det sorte hul.

Ved at analysere et stort antal spektre af aktive galaksekerner på denne måde kan vi bestemme den typiske hastighedsstruktur. Derved kan vi finde den typiske korrektion, der er nødvendig at påføre de traditionelle målinger for at få et mere realistisk mål for hastigheden af gaskomponenten, som vi har brug for til massemålingerne. Når vi har bestemt den korrektion, kan vi opdatere vores metoder til at bestemme massen af de sorte huller.

Ny indsigt i galaksernes udvikling

Med meget mere nøjagtige massemålinger af aktive sorte huller i universet vil forskerne i fremtiden blive i stand til at lave mere nøjagtige beregninger og studier af,

hvilken specifik rolle sorte huller spiller for udviklingen af galakserne. Fx viser der sig at være et næsten konstant masseforhold mellem galakserne i vores umiddelbare nærhed og det supertunge sorte hul, de huser. Forskerne ved endnu ikke, hvordan dette er opstået, men man går ud fra, at der er sket en vis tilpasning mellem galaksen og det sorte hul gennem den mængde gas det sorte hul har "til rådighed for at sluge" og den energi, som hullet sender ud i galaksen igen.

Det har også længe været en gåde, hvorfor elliptiske galakser ikke har kold gas og stjernedannelse som andre galakser. Der er numeriske modeller og simuleringer, som tyder på at sorte huller måske kan standse stjernedannelsen brat i en tidlig udviklingsfase af galakserne. Beregningerne beror dog på simple antagelser om, hvor meget energi det sorte hul producerer, og hvordan denne energi kobles til omgivelserne. Ved hjælp af langt bedre massebestemmelser kan man mere nøjagtigt bestemme energibudgetterne og dermed forhåbentlig opnå en langt større indsigt i de fysiske processer, som kan hjælpe med at opklare mysteriet om, hvorfor elliptiske galakser ingen unge stjerner har, og hvordan stjernedannelsen stoppede så brat. ■

Billedet viser centrum af Mælkevejen. Det røde kryds markerer det supertunge sorte hul i centrum, og de markerede stjerner er blevet brugt til målinger, der har afsløret, at det sorte hul vejer ca. 4 millioner solmasser. Kilde: ESO/MPE/S. Gillessen et al.

Videre læsning

Vestergaard, M.: Tunge sorte huller – hvad kan de bruges til? Kvant nr.3/2016.

Vestergaard, M., og Harmark, T.: 'Sorte Huller', Kapitel 6 i bogen 'Verdensbilledet i forandring - et hundredårigt perspektiv.' Forlaget Epsilon 2016. Udgivet i forbindelse med Astronomisk Selskabs 100 års jubilæum.



DET FRIE FORSKNINGSRÅD
DANISH COUNCIL
FOR INDEPENDENT
RESEARCH

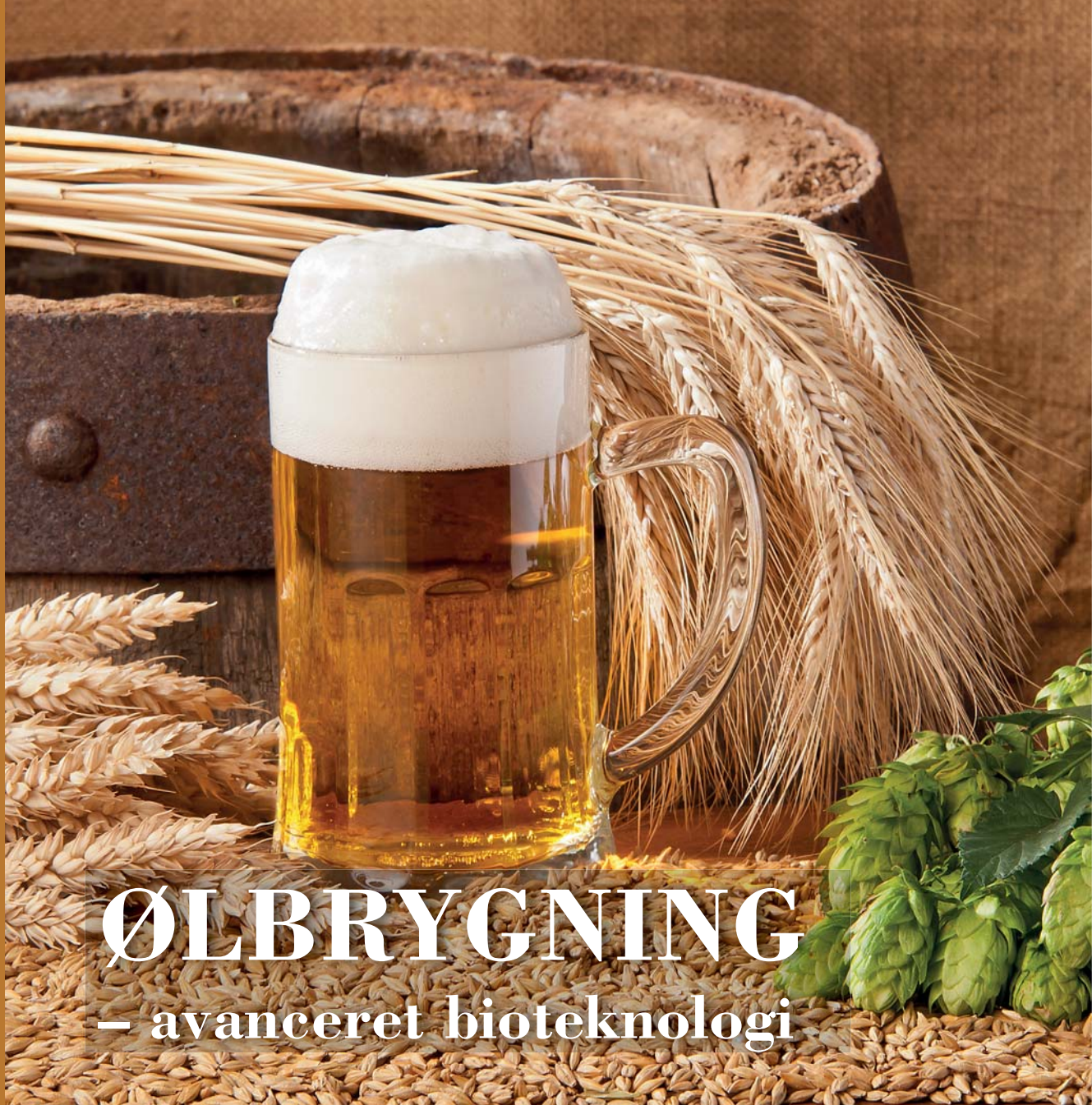


Foto: Colourbox

ØLBRYGNING

– avanceret bioteknologi

Forfatteren



Foto: Anders Bøe

Bent Lyager er civilingeniør og lektor ved Institut for Kemi-, Bio- og Miljøteknologi, Syddansk Universitet. Han har tidligere arbejdet i en årrække i fødevarerindustrien, før han i 1999 kom til det daværende Odense Teknikum. Han er desuden ølentusiast, og på SDU står han for et populært kursus i ølbrygning. bl@kbm.sdu.dk

At brygge godt øl kræver, at man har styr på en række processer i mindste detalje. I denne artikel gennemgår Bent Lyager ølbrygningens overordnede delprocesser og giver dermed et indblik i, hvorfor ølbrygning er avanceret bioteknologi.

Vi danskere kan godt lide øl. Og det er vi ikke ene om: Øl er den 3. mest populære drik i verden efter vand og te, og der konsumeres hvert år næsten 200 milliarder liter øl på verdensplan. Det svarer til, at hvert eneste menneske i verden drikker knap 27 liter øl om året.

Fremstilling af øl menes at kunne dateres mere end 10.000 år tilbage til agerbrugets oprindelse. Øl er der-

med en af de ældste tilberedte drikkevarer. Kort fortalt produceres øl ved hjælp af forsukring af stivelsen i kornprodukter med efterfølgende forgæring til alkohol. I moderne sprogbrug er ølbrygning en bioteknologisk proces, idet bioteknologiske processer er defineret som teknologiske processer, der indeholder mindst et af følgende elementer: råvarer af biologisk oprindelse, biologiske systemer (levende systemer), enzymatiske processer eller

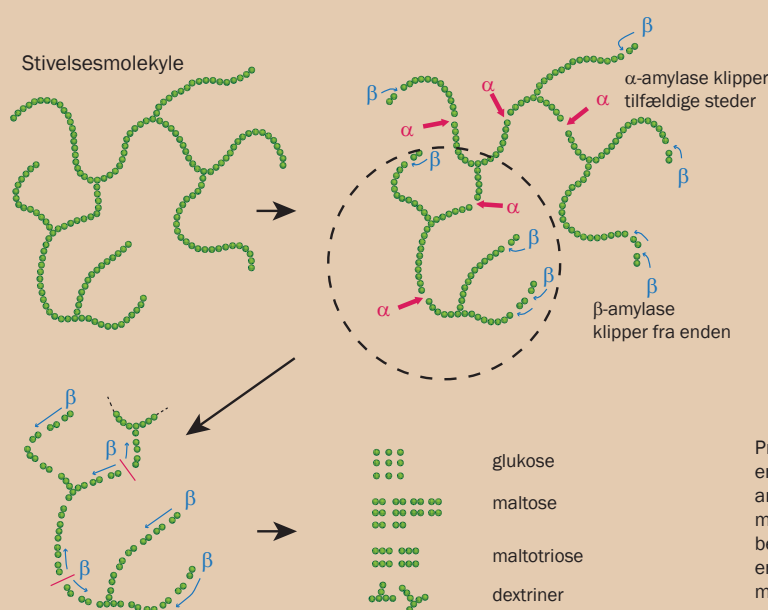
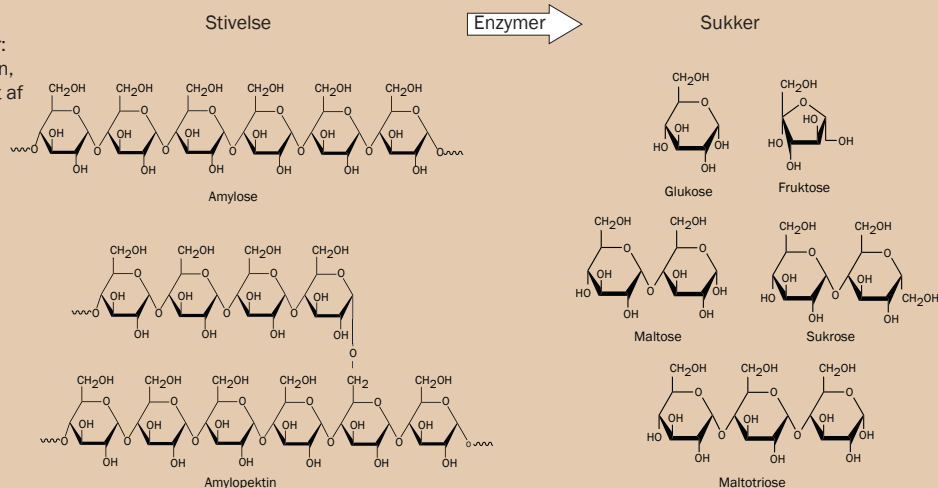
genteknologi. Traditionel ølbrygning omfatter de 3 førstnævnte.

Ølbrygning kan endvidere med rette betegnes som en avanceret bioteknologisk proces, idet gentagen fremstilling af en øl af høj kvalitet kræver præcis styring af flere parametre. Derfor giver studier af ølbrygning en solid baggrund for arbejde med andre biotekniske processer.

I denne artikel vil jeg fokusere på

Stivelse består hovedsageligt af to molekyler: amylose og amylopektin, som begge er opbygget af glukoseenheder.

Til højre ses strukturen af de forskellige sukkerarter nævnt i artiklen.



Principtegning af, hvordan enzymerne α- og β-amylase angriber et stivelsesmolekyle, så man ender med små molekyler bestående af 1, 2 eller 3 glukoseenheder samt nogle lidt større molekyler kaldet dextriner.

de fire overordnede delprocesser i traditionel ølbrygning, som er maltning, mæskning, kogning med humle og gæring.

Maltning – aktivering af enzymer

Råmaterialet til øl er som nævnt forskellige kornsorter som byg, hvede, rug, havre m.fl. Når man snakker om malt, er det en betegnelse for spiret korn, som er tørret. Maltningprocessen går overordnet ud på at aktivere enzymer i kornet, som kan nedbryde stivelse og proteiner i kornet til mindre molekyler, som gæren kan omsætte. Stivelse er makromolekyler, der grundlæggende er opbygget af flere tusinde glukosemolekyler. Gær kan kun om-

sætte sukkerstoffer med 1, 2 eller 3 glukosemolekyler, som kaldes hhv. glukose og fructose (monosaccharider), maltose og sukrose (disaccharider) og maltotriose (trisaccharider). Derfor skal stivelsen klippes i stykker til disse mindre enheder.

Ligeledes skal nogle proteiner også klippes i stykker til frie aminosyrer. For at klippe makromolekylerne i stykker er der brug for flere forskellige enzymer, hvoraf kun ganske få er aktive i det ikke-maltede korn, mens resten er til stede som forstadier til enzymer og bliver aktiveret under maltningprocessen.

Udover at aktivere enzymer til om-

benytter man også maltningprocessen til at fremstille malt med forskellige smagsprofiler. Malt inddeles groft i følgende hovedtyper: Basismalt (pilsner, pale ale, Vienna, Münchener), karamelmalt og ristet malt. Hertil kommer forskellige specialmalte fx røgmalt og surmalt. Af disse malttyper er det basismalte, som bidrager med enzymer. Derfor udgør basismalte typisk fra 100 % ned til omkring 60 % af maltmængden.

De øvrige malttyper har ingen eller kun ringe enzymatisk aktivitet og anvendes for at give smag, mundfylde og farve. De ristede malttyper giver brændte/kaffeagtige smagsnuancer, mens karamelmalte bidra-



Øllets farve kan spænde fra helt lyst til næsten sort. Forskellige typer af malt (baggrundsfoto) giver ophav til sådanne farveforskelle.

Foto: Shutterstock

Enzym	Enzymets funktion	Optimums-temperatur	Aktive i rå byg	Aktive i malt
Lipase	Nedbrydning af fedtstoffer	35-40 °C		•
Lipoxygenase	Ingen specifik betydning i forbindelse med ølbrygning, men væsentlig betydning for spiring og vækst af korn.	40 °C		•
β-glucanase	Nedbrydning af β-glucaner i cellevægge (β-Glucaner kan virke som "tapet-klister")	40-50 °C		•
β-glucan solubilase	Nedbrydning af β-glucaner i cellevægge	62 °C		•
Xylanase	Nedbrydning af cellevægge så stivelsen gøres tilgængelig	45 °C		•
Endo-proteaser	Delvis nedbrydning af proteiner for at opnå passende skumstabilitet samt næring til gær.	50-60 °C		•
Exo-proteaser	Delvis nedbrydning af proteiner for at opnå passende skumstabilitet samt næring til gær.	50-60 °C	•	•
Pullulanase	Nedbrydning af især forgrenede stivelsesmolekyler til sukkermolekyler af forskellig størrelse.	55-60 °C		•
β-amylase	Nedbrydning af stivelses- og større sukkermolekyler til Maltose.	60-65 °C	•	•
α-amylase	Nedbrydning af stivelsesmolekyler til sukkermolekyler af forskellig størrelse.	70-75 °C		•

Tabel over enzymer, der aktiveres under maltningsprocessen og deres optimumtemperaturer (nogle af dem er allerede aktive i den rå byg).

ger med karamel- eller kiksagtige smagsnuancer. Ved den specielle proces for fremstilling karamel-malte opnår man, at en mindre del af stivelsen i malten omdannes til sukker, som så karamelliserer let ved den efterfølgende tørring/ristning. Man kan også opnå, at det dannede sukker reagerer med proteiner, hvorved der dannes såkaldte Maillard-produkter, som man kender det fra skorpen af franskbrød. Det giver en brød- eller kiksagtig smagsnuance.

Mæskning – nedbrydning af stivelse

Mæskningsprocessen indledes med en formaling af malten, hvor man knuser kernerne, mens skallen forbliver intakt. Det er vigtigt, at skallen ikke bliver pulveriseret, idet det vil gøre det vanskeligt at skille væsken fra de faste bestanddele efter mæskningen.

Ved mæskningen blandes den formalede malt med vand, og blandingen gennemløber herefter et trinvis temperaturforløb for at udnytte de forskellige enzymer

optimumtemperaturer. Normalt er maltningsprocessen så godt styret, at den ønskede effekt af flere af enzymerne allerede er udnyttet. Det gælder fx for enzymer som glucanase og xylanase, som er vigtige for at nedbryde cellevægge i kornet, så stivelsen gøres tilgængelig for de stivelsesnedbrydende enzymer. Ligeledes er effekten af de proteinnedbrydende enzymer (proteaserne) også udnyttet i det ønskede omfang, så der allerede i malten er dannet de aminosyrer, som gæren skal bruge, og proteinerne er delvist nedbrudt. Hvis proteaserne er yderligere aktive i mæskningsprocessen kan det medføre, at det færdige øl stort set ikke danner skum eller at skummet forsvinder meget hurtigt.

Derfor kan man ved mæskningen normalt koncentrere sig om aktiviteten af de enzymer, der kaldes α- og β-amylaser. α-amylase nedbryder stivelse ved at bryde bindingerne mellem glucosemolekyler på vilkårlige steder i stivelsesmolekylet. Herved dannes primært større brudstykker af stivelsesmolekylerne kaldet dextriner. β-amylasen

klipper derimod stivelsen i stykker fra den ene ende under dannelse af maltose.

Idet gær som nævnt kun kan omsætte sukkerstoffer med 1, 2 og 3 glukose-enheder og derfor ikke kan forgære dextriner, vil der ved mæskningen blive dannet en blanding af forgærbare og ikke-forgærbare sukkerstoffer. Det er vigtigt for øllets kvalitet, at der er et indhold af dextriner, idet de giver både sødme og smagsfylde samt gør øllet lidt mere tyktflydende, hvilket har stor betydning for smagsoplevelsen.

Da α-amylase og β-amylase har forskellige optimumtemperaturer, er det muligt at styre fordelingen af forgærbart og ikke-forgærbart sukker ved at variere mæskningens temperaturforløb.

Det er naturligvis vigtigt, at al stivelsen omsættes til sukker og dextriner. Det er normalt ikke noget problem, såfremt der under mæskningen er god kontakt mellem væske og malt.

Foto: Anders Boe

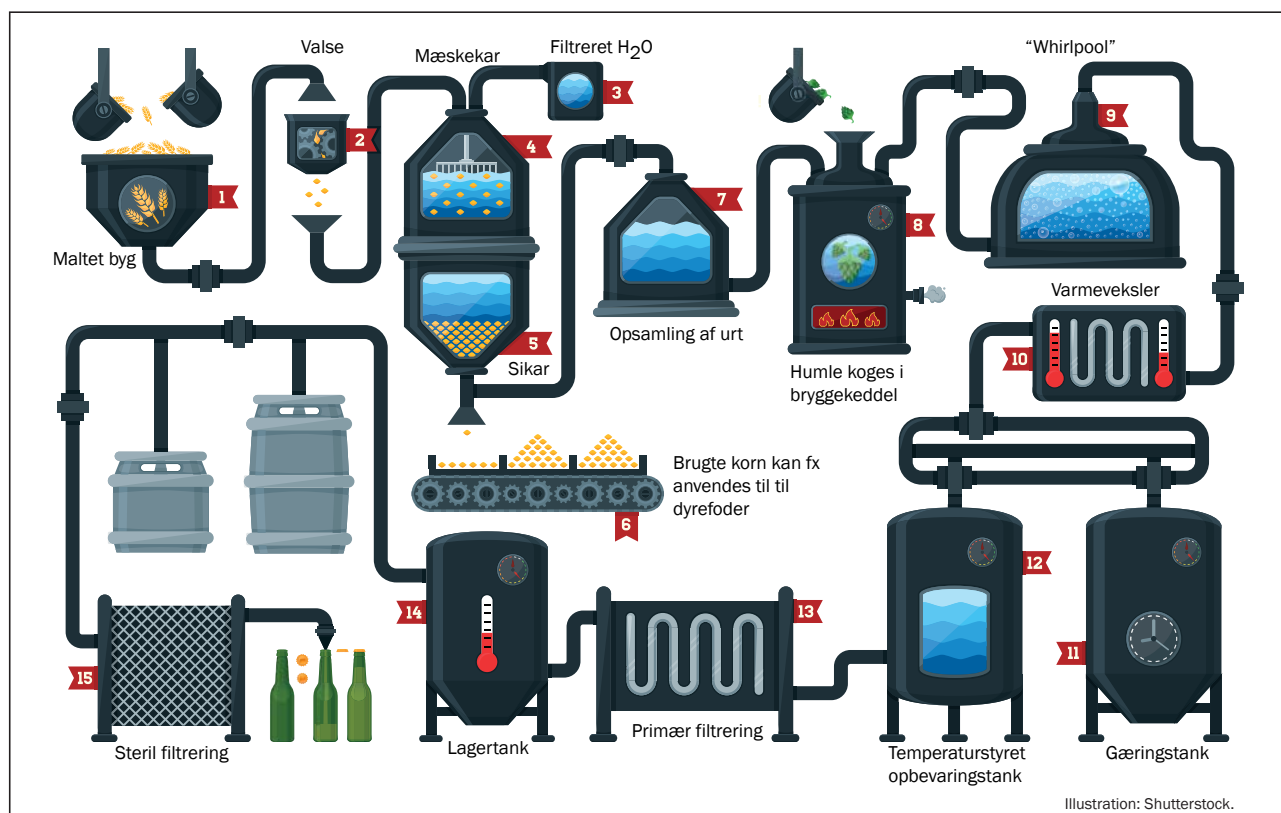


Illustration af de mange trin i bryggeprocessen på et bryggeri.

Efter mæskningen drænes væsken (urten) fra de faste bestanddele (masken), og masken skylles igen med varmt vand for at få skyllet det meste af det opløste stof ud af masken. Temperaturen må her ikke overstige 80°C, idet der ellers kan ekstraheres bittert smagende tanniner (garvesyre) fra skallerne.

Kogning med humle giver smag

Næste skridt i bryggeprocessen – kogning med humle – bidrager først og fremmest til at give bitterstoffer og aromastoffer til øllet. De primære bitterstoffer i humle er α -syerner (også kaldet humuloner). Disse stoffer er stort set uopløselige i vand, men under kogningen sker der en kemisk omdannelse, en såkaldt isomerisering, af stofferne til opløselige iso- α -syrer. Denne proces er ret langsom, idet den maksimale isomerisering først opnås efter mindst 1 times kogning. Det maksimale udbytte af iso- α -syrer er desuden afhængig af koncentrationen af urten, således at højere koncentration af urten medfører en lavere grad af isomerisering. Man kan højst forvente at opnå

en ekstraktion og isomerisering på omkring 30 % af indholdet af α -syre i humlen.

Indholdet af iso- α -syrer i urten udtrykkes i IBU (International Bitter Units), som angiver, hvor mange mg Iso- α -syrer, der er i 1 liter øl. Almindelig pilsner har typisk en IBU på 25 – 45.

De flygtige aromastoffer i humlen er primært humulen og myrcen samt oxidationsprodukter heraf. Disse aromastoffer kan give mange forskellige aromaer – fx blomster, citrus, fyrrenåle, krydderier m.v. Ved kogning i mere end en time er de forsvundet ved afdampning. Derfor tilsættes humle både ved start (bitterhumle) og ved slutning (aromahumle) af kogningen. Tilsætning ved slutning af kogning giver stort set kun aroma og ingen bitterhed.

Udover at give smag og aroma til øllet fungerer humle også som konserveringsmiddel idet iso- α -syrer modvirker vækst af bakterier, men tillader vækst af gær. Tidligere hav-

de humlens konserverende effekt stor betydning. Fx er øltypen IPA (Indian Pale Ale) fremkommet tilbage i tiden, hvor englænderne sejlede øl fra England til deres kolonier i Indien. For at kunne holde til den lange sørejse med sejlskib rundt Afrika, konserverede man øllet med store mængder humle og en højere alkoholprocent.

Gæring – fra sukker til alkohol

Gær er en encellet organisme, som kan leve både aerobt, hvor sukker nedbrydes til CO₂ og vand, og anaerobt, hvor sukker nedbrydes til CO₂ og alkohol. Ved brygning er gærens funktion naturligvis at danne alkohol. Men herudover danner gæren også en mængde aromastoffer i form af forskellige estere (frugtagtige aromaer), højere alkoholer, frie fedtsyrer m.v. ligesom gæren også danner ret store mængde syrer, således at surhedsgraden i den færdige øl ligger på omkring pH = 4. Der findes to hovedtyper af gær – overgær (*Saccharomyces cerevisiae*) og undergær (*Saccharomyces Carlsbergensis*). Overgær benyttes til bl.a. ale-typer, belgisk trappist-øl



Fermenteringsudstyr på SDU, som netop nu anvendes i et projekt, hvor studerende afprøver en gærstamme. Efter leverandørens oplysninger har gærstammen potentiale til at gære op til et alkoholindhold på 25%, og den slags udsagn er svært at lade ligge uprøvet for Bent Lyager og hans studerende. Foto: Anders Boe

Ølbrygning – nyttig viden

De processer, som indgår i ølbrygning, er analoge med, hvad der foregår i mange andre bioteknologiske processer. Derfor giver studier af ølbrygning en solid baggrund for arbejde med andre biotekniske processer. Det gælder fx:

- Fremstilling af Bioethanol. Ved anvendelse af lignocellulose-holdige råvarer (fx halm) anvendes enzymer til at nedbryde cellulosen til glukose, som herefter omdannes til alkohol ved hjælp af gær.

- Fremstilling af forskellige farmaceutiske produkter. Novo Nordisk anvender genmodificeret gær til fremstilling af insulin, og den største del af antibiotika

fremstilles ved gæring med mikroorganismer.

- Fremstilling af enzymer. Næsten alle enzymer er fremstillet ved gæring med mikroorganismer.

- Fremstilling af fodergær. Gær fra ølbrygning har gennem århundreder været anvendt til dyrefoder, men der er i dag stigende fokus på direkte produktion af protein til dyrefoder på basis af gær eller andre mikroorganismer.

Bemærk, at jeg her bevisst anvender ordet "mikroorganismer", fordi man afhængig af opgaven anvender både bakterier, gær, svampe eller alger. Men de grundlæggende principper for styring af en fermentering er fælles.

Læs videre

Iben Damager og Ivan Baumann: Sukkeranalyser smager af øl. *Aktuel Naturvidenskab* 4/2011.

Undervisningsmateriale: På *Aktuel Naturvidenskab*'s hjemmeside kan du finde undervisningsmateriale udarbejdet af Jacob Højgaard Thinggaard fra Viborg Gymnasium og HF, der er relevant i forbindelse med denne artikel. Se aktuelnaturvidenskab.dk/undervisningsmateriale

og stout, og brygningen foregår typisk omkring 15 - 25°C. Undergær anvendes til pilsnerøl, og brygningen foregår normalt omkring 10 - 12°C. For begge typer af gær gælder, at de sagtens kan gære ved højere temperaturer, men gærings-temperaturen har stor indflydelse på dannelsen af aromastoffer, som stiger med stigende gærings-temperatur. Således giver gæring med undergær ved lav temperatur kun en begrænset mængde aromastoffer, mens gæring med overgær ved højere temperaturer giver mange flere aromastoffer, især frugtagtige aromaer.

Ølgær omdanner kun en del af det forgærbare sukker. Hvor stor en del gæren omdanner betegnes *attenuation* og ligger normalt på 70 - 80 %. Den aktuelle attenuation afhænger af gærstammen, men påvirkes også af gærings-temperaturen.

Ved start af gæringen tilsættes gæren til den afkølede urt. For at få en god start og et optimalt gæringsforløb, er der nogle krav, der skal opfyldes: pH skal være justeret til 5,2, temperaturen ved tilsætning af gær skal være ca. 25 °C, mængden af gærceller skal være 10-20 mio. gærceller pr. ml., urten skal beluftes før og/eller ved tilsætning af gær og endelig skal der være tilstrækkeligt med næringsstoffer til stede i urten – især aminosyrer og zink.

Beluftning af urten ved start af gæringsforløbet er vigtigt for at give gæren mulighed for at få gang i væksten ved aerob metabolisme. Det er især vigtigt for dannelse af forskellige lipider, som gæren skal bruge til væksten. Ved brygning udelukkende på malt kan man regne med, at de nødvendige næringsstoffer er til stede, men det kan være et problem, hvis der bruges store mængder af andre kulhydrater, fx majs.

Den primære gæring tager typisk omkring 1 uge. Herefter stilner gæringen af, og gæren synker til bunds. Det anbefales her at fjerne den bundfældede gær, da der ellers kan opstå gærsmag i det færdige øl, når de døde gærceller går i opløsning.

Ved den primære gæring danner gæren relativt store mængder af diacetyl og acetaldehyd. Disse stoffer er uønskede i den færdige øl, da de giver henholdsvis en vammel smøragtig smag og en "grøn" æblesmag.

Ved den efterfølgende lagring omsætter den resterende gær disse stoffer, og når de ikke kan erkendes længere (efter 1 - 2 uger) er øllet i princippet færdig til tapning.

På flaske

På de store bryggerier bliver øllet filtreret inden tapning, så det er helt

krystalklart. Øllet bliver desuden pasteuriseret for at opnå sikkerhed for holdbarheden. Hvis pasteuriseringen sker før tapning, skal tapningen efterfølgende foregå i bakteriefri omgivelser og i steriliserede emballager. Ellers foregår pasteuriseringen ved, at de fyldte flasker eller dåser passerer gennem en varmetunnel. Øllet skal også indeholde den korrekte mængde kuldioxid. Det meste af kuldioxiden findes allerede i øllet, idet man lader trykket stige i gæringsstanken i den sidste del af gæringen. Den manglende kuldioxid tilsættes fra trykflasker lige før tapningen.

Ved fremstilling af specialøl og øl fra mikrobryggerier er der en stigende tendens til at undlade at filtrere øllet. Herved bliver øllet ikke helt klart, men man kan også undgå at fjerne aroma eller smagsstoffer. Mange mikrobryggerier har heller ikke udstyr til at tilsætte kuldioxid til øllet inden tapning. I stedet lader man øllet eftergære i flasken, hvilket forudsætter, at øllet ikke er pasteuriseret, så der forsat er nogle få gærceller i øllet. Umiddelbart før tapningen tilsættes en smule sukker til øllet. Herefter vil gæren omdanne det tilsatte sukker til alkohol og kuldioxid. Det medfører så, at der bliver lidt bundfald af gær i flasken, som dog ikke vil genere den tørstige kunde med smag for godt øl.

LÆS MERE
NANO.AAU.DK/SRP

HJÆLP TIL DIT STUDIERETNINGS- PROJEKT?

**FÅ SPARRING AF DYGTIGE FORSKERE, OG LAV FORSØG
TIL DIT STUDIERETNINGSPROJEKT I DE VELUDSTYREDE
LABORATORIER PÅ AALBORG UNIVERSITET.**

DU KAN FÅ HJÆLP TIL EMNER SOM:

FYSIK

SUPERLEDNING
KVANTEMEKANISKE TUNNELEFFEKTER
UV-LITOGRAFI
BESTEMMELSE AF PLANCKS KONSTANT

KEMI/BIOTEKNOLOGI

METALLISKE NANOPARTIKLER
MICELLER
PEPTIDSYNTESE
ENZYMTEKNIK



AALBORG UNIVERSITET



Foto: Uffe Weng/Roskilde Universitet

SUPER-SALMONELLA

gør os klogere på tarminfektioner

Vores naturlige tarmflora af bakterier yder en vis beskyttelse mod sygdomsfremkaldende bakterier. Men ganske små ændringer i genomet på en indtrængende bakterie kan være nok til, at konkurrencefordelen tipper til dens side.

I vores tarme bor der billioner af bakterier, som hjælper os med at fordøje vores mad og bidrager med næringsstoffer. Til gengæld får de husly og lidt næring fra vores føde. Tilsammen kaldes denne population af bakterier for vores mikrobiota (eller mikrobiom). Sammensætningen er kompleks med mange forskellige arter, og den er tilpasset miljøet i tarmen. En yderst vigtig egenskab ved vores mikrobiota er også, at den yder delvis beskyttelse overfor indtrængende arter af fx sygdomsfremkaldende bakterier. Mekanismerne for denne delvise beskyttelse har været svære at belyse, men studier tyder på, at det bl.a. skyldes, at mikrobiota optager al tilgængelig næring og derved direkte hæmmer indtrængende arter i at etablere sig. Man ved

også, at antibiotika-behandling, der jo rammer alle bakterier, dvs. også vores mikrobiota, er en vigtig risikofaktor for efterfølgende infektion med en sygdomsfremkaldende bakterie. Formodentlig skyldes det, at antibiotikaen udløser en forstyrrelse af vores mikrobiota, der er stor nok til at tillade indtrængende arter en plads i økosystemet i vores tarme. Af samme årsag er man også tit tilbageholdende med at behandle tarminfektioner med antibiotika.

I de senere år har vi desværre set en fremkomst af sygdomsfremkaldende bakterier, der meget effektivt er i stand til at etablere sig i tarmen og forårsage infektion, selv hos sunde individer uden forudgående antibiotikabehandling. Det tyder altså på, at disse epidemiske bakterier er

i stand til at udkonkurrere vores mikrobiota og kolonisere vores tarme. Man ved dog endnu ikke, hvorfor disse varianter er så succesfulde.

Mus med salmonella

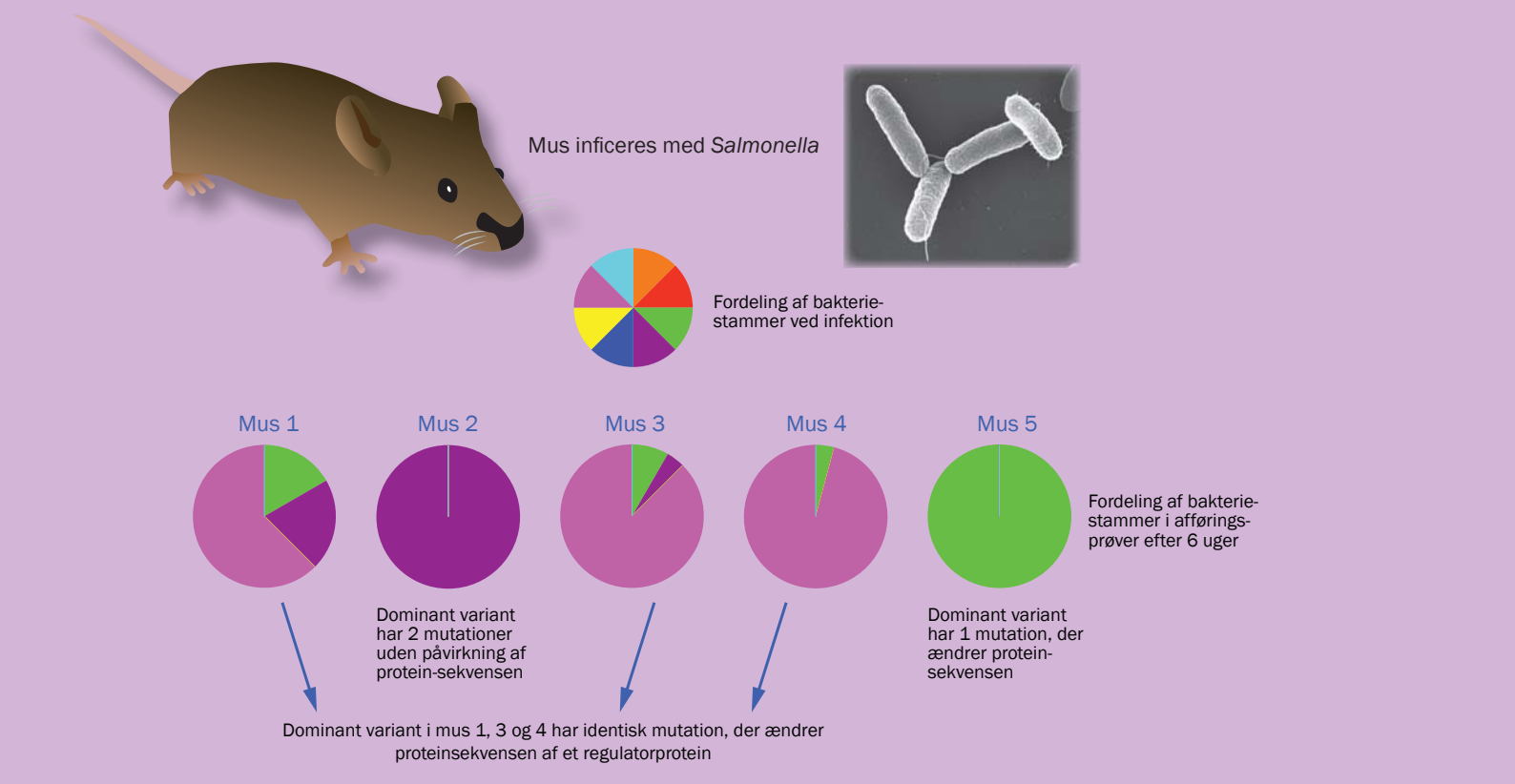
For at blive klogere på dette har jeg brugt bakterien *Salmonella Typhimurium* som model for en sygdomsfremkaldende tarmbakterie. Denne bakterie er en almindelig årsag til fødevarerbårne infektioner, som kommer til udtryk ved kraftig diarre og høj feber.

For at kunne studere *Salmonellas* evne til at kolonisere tarmen i konkurrence med mikrobiota har jeg også benyttet mig af en musemodel for tarminfektioner. Jeg har brugt en særlig muse-type, der godt kan blive inficeret med *S. Typhimuri-*

Om forfatteren



Lotte Jelsbak er cand. scient. og ph.d. Hun er lektor i Medicinal Biologi på Roskilde Universitet, hvor hun forsker i sygdomsfremkaldende bakterier og hvilke mekanismer, de benytter sig af, når de gør os syge. ljelsbak@ruc.dk



um, men som ikke viser tegn på sygdom. Det vil sige, at jeg kan lade forsøgene køre over relativt lang tid, uden at musene lider overlast. I mit forsøg var jeg interesseret i at undersøge, om *S. Typhimurium* kunne udvikle sig til en ny variant ved at ændre i sit DNA og derefter undersøge, om disse ændringer gør *Salmonella* bedre i stand til at etablere sig i tarmmiljøet. Ved på denne måde at bruge eksperimentel evolution og naturlig selektion kan man afdække, hvilke processer i tarmmiljøet der normalt begrænser sygdomsfremkaldende bakteriers evne til at etablere sig i tarmen.

Salmonella kan udvikle superkoloniserings-varianter

I min undersøgelse konstruerede jeg 8 *Salmonella*-stammer, der er ens, bortset fra et kort DNA-stykke, hvor DNA-sekvensen varierer mellem de 8 stammer. De 8 stammer har dermed fået indbygget en slags "stregkode" i deres DNA, der gør det muligt at skelne dem fra hinanden ved hjælp af molekylære teknikker. Før musene blev inficeret med bakterierne, blandede jeg alle 8 stammer i forholdet 1:1, og musene blev inficeret med denne blanding. I alt blev 5 mus inficeret. Derefter fik salmonellabakterierne lov til at etablere sig i tarmen over

4-6 uger. Undervejs blev der jævnligt indsamlet prøver af musenes afføring. Ved hjælp af DNA-stregkoden er det muligt at undersøge, hvordan fordelingen af de forskellige stammer udvikler sig og dermed afgøre, om en af de 8 stammer er bedre til at etablere sig i tarmen end de andre. Hvis det er tilfældet, kan det tyde på, at denne stamme har tilpasset sig tarm-miljøet og dermed har opnået en fordel i forhold til de andre stammer (= naturlig selektion). Ofte er det nemlig kun ganske små ændringer i bakteriers DNA, der skal til for at øge deres konkurrenceevne i et givent miljø.

Analysen af afføringsprøverne viste klart, at der i alle mus var fremkommet dominante varianter, der optrådte i relativt større tal i forhold til de andre varianter. Da jeg undersøgte disse succesfulde varianters DNA ved hjælp af genomanalyse, viste det sig, at alle dominante varianter havde fået ændret deres DNA-sekvens 1 til 2 steder i genomet. Især var det interessant, at den dominante variant fra 3 af musene var fra den samme stamme med den samme ændring i DNA. Det tyder på, at netop denne DNA-ændring gjorde *Salmonella* særligt effektiv til at kolonisere tarmen og udkoncurrere mikrobiotaen i musene.

Lille ændring gør hele forskellen

Mutationen i denne stamme af bakterier befinder sig i en regulator af gener, der er nødvendige for at bakterier kan benytte en særlig sukker-art (glucuronat) som næring. Tilsyneladende ændrer mutationen på aktiviteten af regulatoren, således at bakterier med denne mutation er bedre til at benytte glucuronat som næring. Derved opnår de en øget konkurrenceevne for næringsstoffer i tarmen.

Min undersøgelse bekræfter altså, at en ganske lille ændring i sygdomsfremkaldende bakteriers genom kan være nok til, at de kan opnå en konkurrencefordel og dermed potentielt blive endnu mere sygdomsfremkaldende.

Men denne viden kan vi også udnytte til vores egen fordel. En ganske lille ændring af genomet i en af de "gode" bakterier i vores tarm vil således måske også være nok til at give dem en konkurrencefordel, som kan hjælpe med at udkoncurrere de indtrængende bakterier. Den viden kan man bruge til at udvikle bakteriestammer til at behandle tarminfektioner og dermed mindske brugen af antibiotika. ■

Videre læsning

Studiet er publiceret i BMC Microbiology: Søndberg E, and Jelsbak L. (2016) *Salmonella Typhimurium* undergoes distinct genetic adaptation during chronic infections of mice.

Studiet er støttet med en bevilling fra Det Frie Forskningsråd for Teknologi og Produktion til Lotte Jelsbak, bevillingsnummer: 12-126640

Alle museforsøg er godkendt af Forsøgsdyrstilsynet i Danmark og udført i henhold til gældende lovgivning.

MOLEKYLÆRE MASKINER

- en verden af muligheder

Forfatterne



Sissel Stenbæk Andersen er ph.d., postdoc ved Syddansk Universitet, hvor hun bl.a. har arbejdet på at lave ensrettet bevægelse i rotaxaner og catenaner. sissel.s.andersen@gmail.com



Rikke Kristensen er cand. scient. fra Syddansk Universitet. Har i sit speciale bl.a. syntetiseret en catenan, med henblik på at skabe ensrettet bevægelse. rikke.kristensen86@gmail.com



Jan Oskar Jeppesen er professor, ph.d. Havde Sir J. Fraser Stoddart som medvejleder på sit ph.d. projekt og har af flere omgange været på længerevarende forskningsophold hos Sir J. Fraser Stoddart. joj@sdu.dk

Alle tre ved Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet

Nobelprisen i kemi uddeles i år til tre forskere, der har været med til at designe og syntetisere nogle af de første molekyler, der virker som små maskiner. Det indvarsler en fremtid, hvor man kan producere meget små maskiner, som fx kan anvendes i kroppen.

Maskiner er en uundværlig del af vores dagligdag. Normalt tænker vi på en maskine som et stort, mekanisk hjælpemiddel, der omdanner energi eller udfører et arbejde. Tænk blot på en bilmotor, som omdanner den potentielle energi i brændstoffet til kinetisk energi i form af bevægelse af bilen. Mere generelt kan man sige, at en maskine er sammensat af en række dele, hvor mindst en er bevægelig. Det betyder, at også molekyler kan anses for at være maskiner, hvis de er opbygget på samme måde med mindst en bevægelig del. Og det giver bestræbelserne på at gøre maskiner mindre og mere effektive, så de kan bruges i nye sammenhænge, en helt ny dimension. Man kan således i princippet designe maskiner i molekyl størrelse, som kan bruges fx i kroppen. Molekylære maskiner er kun få nanometer store, det vil sige omkring en million gange mindre end de mindste makroskopiske maskiner, vi allerede benytter i vores dagligdag. Dette års Nobelpris i kemi er netop givet til tre kemikere, Jean-Pierre Sauvage, Sir J. Fraser Stoddart og Bernard L. Feringa, for

deres pionerarbejde med design og syntese af molekylære maskiner.

Strukturen af de molekylære maskiner

Inden for den syntetiske kemi har specielt to typer af molekyler vundet indpas til opbygning af molekylære maskiner: catenaner og rotaxaner.

En catenan består af to sammenlåste ringe. En rotaxan består af en ring, der omkranser en stang påsat to store endegrupper. Stangen og de store endegrupper kaldes for en "håndvægt". De store endegrupper i håndvægten forhindrer ringen i at falde af stangen.

Selvom de to ringe i en catenan ikke er bundet fysisk sammen, kan de alligevel ikke adskilles, uden at den ene ring brydes. Det faktum gør det meget vanskeligt at syntetisere catenaner. I 1983 lykkedes det Jean-Pierre Sauvages forskningsgruppe at syntetisere den første catenan i et godt udbytte på 42 %. De syntetiserede først den ene ring. Dernæst klistrede de den anden ring fast til den første ring ved hjælp af en kobberion, som fungerer som

lim. Herefter lukkes den anden ring, hvorefter kobberionen fjernes. På tilsvarende måde fremstillede Sir J. Fraser Stoddarts forskningsgruppe i 1991 den første rotaxan.

Sådan fungerer de molekylære maskiner

I en rotaxan kan ringen bevæge sig langs håndvægten. Ved at indsætte stationer i håndvægtsenheden af rotaxanen er det muligt at styre bevægelsen af ringen. En station er et sted på håndvægten, hvor ringen foretrækker at være placeret på grund af øget tiltrækning mellem ring og håndvægt. En to-stations rotaxan kan således laves ved at indsætte to stationer på håndvægtsenheden, og dermed kan molekylet anvendes som en molekylær kontakt. Når ringen omkranser station 1, vil det svare til, at kontakten er slukket, og når ringen omkranser station 2, svarer det til, at kontakten er tændt.

For at sikre, at kontakten virker så effektivt som muligt, er det vigtigt, at man kan kontrollere, på hvilken station ringen er placeret på et givent tidspunkt, altså om kontakten er tændt eller slukket. For at kunne

Strukturer: catenaner og rotaxaner

Illustration af en rotaxan og en catenan. En catenan består af to sammenlåste ringe, mens en rotaxan består af en ring der omkranser en stang, påsat to store endegrupper. Stangen påsat de to store endegrupper har form som en "håndvægt", og kaldes derfor på engelsk for *dumbbell*.

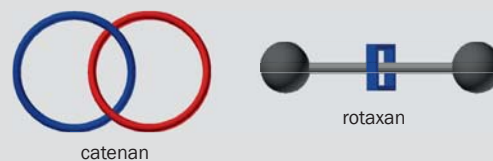
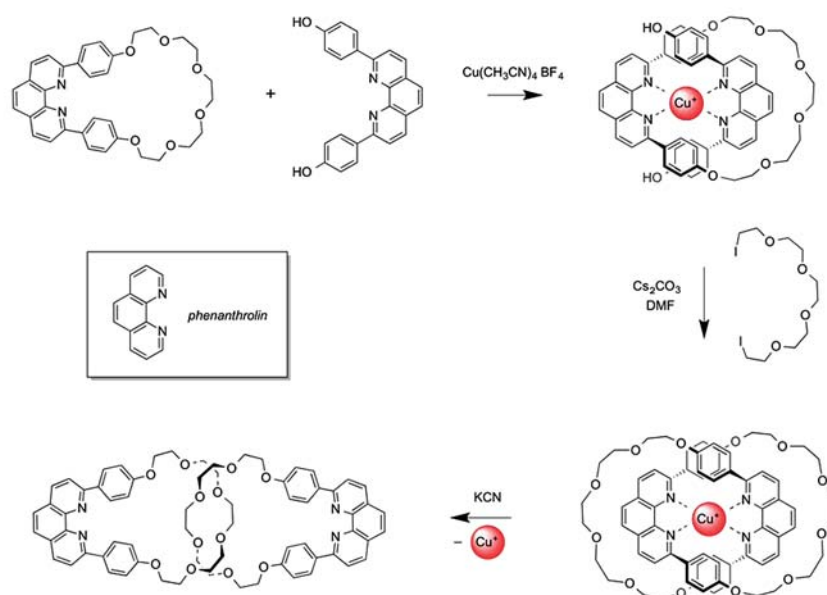
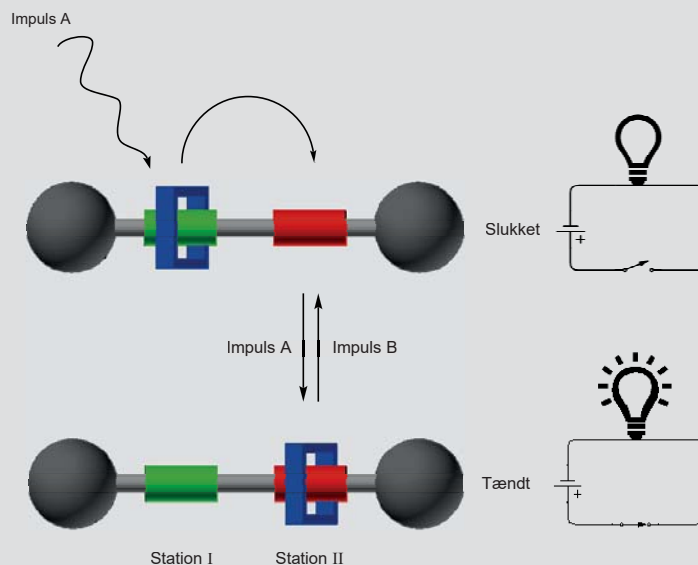


Illustration af en rotaxan, som er forsynet med to stationer. Ved at give en impuls til rotaxanen kan ringen bevæge sig fra den ene station til den anden. Hvis den ene station defineres som tænd og den anden som sluk, fungerer molekylet som en kontakt.



Sauvages synteserute til den første fremstillede catenan. Syntesen sker ved hjælp af en kobberion (Cu^+ , rød), der fungerer som lim til at holde de to ringe sammen. Til sidst fjernes kobberionen.

kontrollere dette, er det nødvendigt at påvirke den kemiske ligevægt, som styrer hvor ringen er placeret. Det kan ske ved at tilføje en impuls, som fx kan ændre på en af stationernes evne til at tiltrække ringen, hvilket får ringen til at bevæge sig. Det havde Stoddart succes med for første gang i 1994. I samme år lykkedes det Sauvage at skabe en

lignende kontrolleret bevægelse i en catenan.

Bittesmå computere og molekylære elevatorer

Stoddart har sammen med andre forskere udviklet en computerchip baseret på netop rotaxan-strukturen. Denne chip besidder 20 kB hukommelse. Chippen er lavet ved at

omdanne tænd og sluk i to-stations rotaxanen til 0 og 1, hvilket svarer til det binære talsystem, som computere er bygget op omkring. Denne type molekylære computerchips er meget små, når de sammenlignes med nutidens chips. Det kan potentielt føre til meget små computere i fremtiden, hvis teknologien udvikles.

Prismodtagerne



Jean-Pierre Sauvage (f. 1944 i Paris, Frankrig). Ph.D. i 1971 fra Strasbourg Universitet, Frankrig. I dag professor emeritus på Strasbourg Universitet og leder af emeritus forskning hos det Nationale Center for Videnskabelig forskning (CNRS), Frankrig.



Sir J. Fraser Stoddart (f. 1942 i Edinburgh, Storbritannien). Ph.D i 1966 fra Edinburgh Universitet, Storbritannien. I dag Board of Trustees professor i kemi ved Northwestern Universitet, Evanston, IL, USA.



Bernard L. Feringa (f. 1951 i Barger-Compasuum, Holland). Ph.D. I 1978 fra Groningen Universitet, Holland. I dag professor i Organisk kemi ved Groningen Universitet i Holland.

Molekylære maskiner på SDU

Der er mange forskere rundt om i verden, som er inspireret af de tre nobelprismodtageres arbejde med molekylære maskiner. I Danmark arbejdes der bl.a. på Syddansk Universitet med molekylære maskiner, specielt inspireret af det arbejde Sir J. Fraser Stoddarts gruppe har udført. Arbejdet her på Syddansk Universitet har primært fokus på at forstå, hvordan retningen af bevægelsen i en rotaxan eller catenan kan kontrolleres. Til det formål fremstiller vi mindre og simple molekyler, som benyttes til at undersøge forskellige egenskaber, der påvirker bevægelsen. I fremtiden vil disse mindre molekyler kunne sættes sammen til catenener eller rotaxaner med henblik på at skabe ensrettet bevægelse.

Både Sauvage og Stoddart har udnyttet, at det er muligt at kontrollere bevægelsen mellem to stationer til at syntetisere mere komplicerede systemer. I 2000 lykkedes det således Sauvage at fremstille den første molekylære muskel. En molekylær muskel virker ved, at den kan trække sig sammen og strække sig ud igen, på samme måde som vores muskler kan. I 2004 syntetiserede Stoddarts forskningsgruppe en molekylær elevator, hvor bevægelsen anvendes til at kunne løfte noget op og ned. De beviste, at elevatoren kunne løfte sig selv 0,7 nm over en overflade.

Ensrettet bevægelse i en molekylær motor

For at kunne udnytte den bevægelse, der skabes i molekylære maskiner, til at drive noget fremad, er det

afgørende, at bevægelsen kun sker i en retning. Det kan sammenlignes med, at når en bilmotor tændes og bilen kører afsted, så skal den kun køre fremad og ikke skiftevis baglæns og forlæns, som bilen selv lyster. Den tredje prismodtager af dette års nobelpris i kemi, Bernard L. Feringa, har opnået at skabe kontinuert, ensrettet bevægelse. Han var den første, der udviklede og syntetiserede en molekylær motor. Det opnåede han med et molekylært rotorblad, der kan rotere i én retning. Motoren består af en stationær del, som via en akse er forbundet til en roterende del. En metylgruppe (dvs. en kemisk gruppe bestående af CH_3) er fastgjort til henholdsvis den roterende og den stationære del. Metylgrupperne fungerer som hager, der sørger for

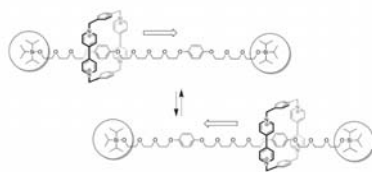
at rotationen kun kan finde sted i en retning. Akslen består af en dobbeltbinding, og det er netop denne, der får rotationen til at finde sted. Når UV-lys rammer dobbeltbindingen drejer den roterende del 180 grader. De påsatte hager flytter sig nu til den optimale position, og sørger dermed for, at rotationen sker i samme retning, når UV-lys igen får motoren til at dreje yderligere 180 grader. Herved opnås en fuld ensrettet drejning. Hele rotationsprocessen kan gentages.

Fra molekylær motor til nanobil

Feringa og samarbejdspartnere har forfinet dette system, siden den første motor blev publiceret i 1999. I 2005 fremstillede de en motor, hvor den stationære del var fastgjort til en guldoverflade. Det er

Tidslinje

1983
Sauvage laver den første catenan

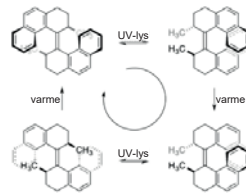


1991

Stoddart laver den første rotaxan

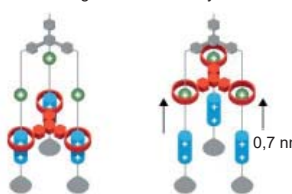
1994

Stoddart kontrollerer bevægelsen i en rotaxan



2000

Sauvage laver en molekylær muskel

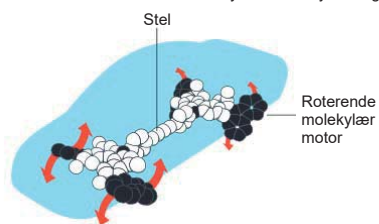


2005

Molekylær motor på en overflade

2006

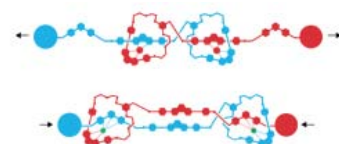
Molekylær motor flytter ting



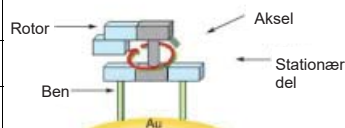
2016

Nobelprisen i kemi til Sauvage, Stoddart og Feringa

1999
Feringa laver den første molekylære motor



2004
Stoddart laver en molekylær elevator

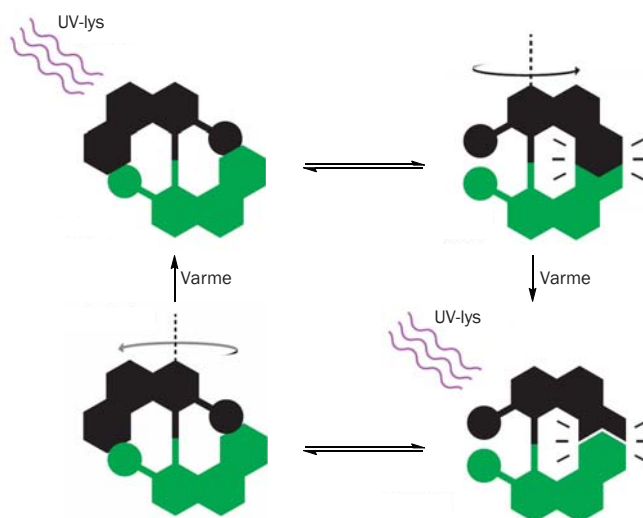
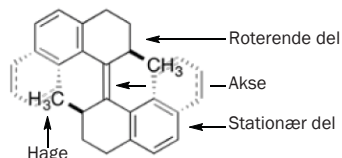


2011
Feringa laver en nanobil

2014
Motoren kan nu rotere med 12 millioner omdrejninger

Illustrationselementer af
Johan Jarnestad/Det Kgl.
Svenske Videnskabsakademi

Illustration af Feringas ensrettede, lysdrevne molekylære motor. Motoren består af en stationær del forbundet til den roterende del via en akse. Aksen kan skifte mellem to forskellige positioner, når den bestråles med UV-lys. Illustration: Johan Järnström/Det Kongl. Svenske Vetenskapsakademien



et særdeles vigtigt skridt i at kunne udnytte motorens rotation til at udføre et faktisk stykke arbejde. Så længe molekylerne er i opløsning, er det umuligt at ordne de molekylære motorer på en sådan måde, at de alle er placeret, så de roterer i samme retning. Når det er muligt at fastgøre de molekylære motorer til en overflade er det samtidig muligt at arrangere dem, så de roterer identisk. Dermed kan det samlede arbejde fra de molekylære motorer bedre udnyttes. I 2006 viste Feringa, at en lignende molekylær motor kunne bruges til ensrettet ro-

tation af et ca. 30 mikrometer stort objekt. Det svarer til, at motoren roterer et objekt 10.000 gange større end motoren selv. I 2014 opnåede de at øge hastigheden, således at motoren kan rotere med 12 millioner omdrejninger pr sekund.

Feringas forskningsgruppe syntetiserede i 2011 en nanobil. Nanobilen er opbygget af et molekylært stel påsat fire motorer, som fungerer som bilens fire hjul. Ved at lyse på nanobilen kan den bevæge sig fremad på en overflade, da lyset får hjulene til at rotere.

Molekylære maskiner i fremtiden

De første elektriske motorer blev fremstillet i 1830'erne, og først 50 år senere, i 1880'erne, kom de første biler. Nobelpriskomiteen sammenligner udviklingen af molekylære maskiner med den udvikling, de første elektriske motorer havde frem til 1830'erne. Det er i sig selv imponerende, at det i dag er muligt at skabe noget så småt og samtidig funktionelt. Kun fremtiden vil vise, hvilke anvendelser og betydning disse små maskiner vil få.

Videre læsning

Om nobelprisen i kemi:
www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2016/press.html

Om molekylære computere:
www.kemi-online.dk/files/side20-23dak62001.pdf

Bliv studerende for en dag
 - og få brikkerne til
 at falde på plads!

Naturvidenskab på
 Syddansk Universitet
www.sdu.dk/brobygning



HVEM ER BEDST?

- metoder til rangering
i sport og videnskab

Foto: Mike Kalasnik/cc-by-sa-2.0/via Wikimedia

Hvem er den bedste straffekastsskytte i den amerikanske basketball-liga?
Og hvad har det med gener, der potentielt er forbundet med kræft at gøre?

Der er kun få sekunder tilbage af basketball-kampen. Stillingen er helt lige, og I har desperat brug for sejren. Og nu får I tilkendt et straffekast. Som træner har du ansvaret for at udpege spilleren, der skal kaste. Hvem vælger du?

Ja, man kan selvfølgelig slå plat og krone, men de fleste vil jo nok prøve at vurdere sandsynligheden for succes ud fra en vurdering af den enkelte spillers hidtidige præstationer – altså en slags statistisk analyse. Men selv når man samler data ind og laver grundig statistik, bliver det ikke nødvendigvis glasklart, hvem der er det bedste valg. For det afhænger af, hvilken metode man bruger.

Klar kommunikation: Medie-rangering

Sportskanalen Entertainment and Sports Programming Network (ESPN) viser basketball fra National Basketball Association (NBA) i USA, hvor verdens bedste atleter kæmper om at vinde mesterskabet. ESPN samler løbende data fra kampene og bruger statistikkerne til at rangere spillerne i mange forskellige kategorier.

En af kategorierne er straffekast, og til rangering bruges antal straffekastforsøg og den tilhørende scoringsfrekvens for hver spiller. I 2015/16-sæsonen skød 462 NBA-spillere mindst et straffekast. Sammenlagt blev der skudt 57.469 straffekast og scoret 43.489 gange – scoringsfrekvensen var altså

$43.489/57.469 = 75,7\%$. Men hvilken spiller var bedst til straffekast?

Det er ikke oplagt, hvordan NBA-spillerne skal rangeres, fordi antallet af forsøg varierer mellem spillerne. I alt 14 spillere scorede hver gang, men de skød alle færre end 11 gange. Jordan Farmar scorede 10 gange på 10 forsøg, mens James Harden scorede på 86% af sine 837 forsøg. Er Jordan Farmar så bedre end James Harden? Stephen Currys scoringsfrekvens er 90,8% på 400 forsøg, og Kevin Durants frekvens er 89,9% på 498 forsøg. Hvem er bedst?

ESPN bruger en simpel metode til at rangere spillerne: En spiller er kvalificeret til at blive rangeret, hvis han har scoret mere end 125



Asger Hobolth er statistiker og lektor ved Bioinformatics Research Centre, Aarhus Universitet. Desuden er han en stor fan af NBA-basketball.
asger@birc.au.dk

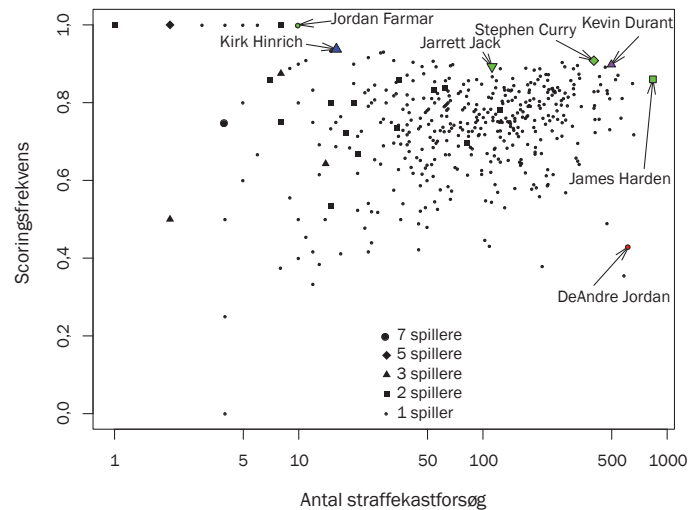
gange. De kvalificerede spillere rangeres efter scoringsfrekvens. Er det en god metode til at rangere spillerne? Metoden er nem at forklare og forstå, men det virker temmelig barsk at have en kvalifikationstærskel på 125 scoringer. Det kan ekskludere spillere, som har lavet flotte præstationer. Fx scorede Jarrett Jack fra Atlanta Hawks på 100 ud af 112 forsøg. Skal han ikke anerkendes som en fremragende straffekastsskytte?

Den klassiske metode:

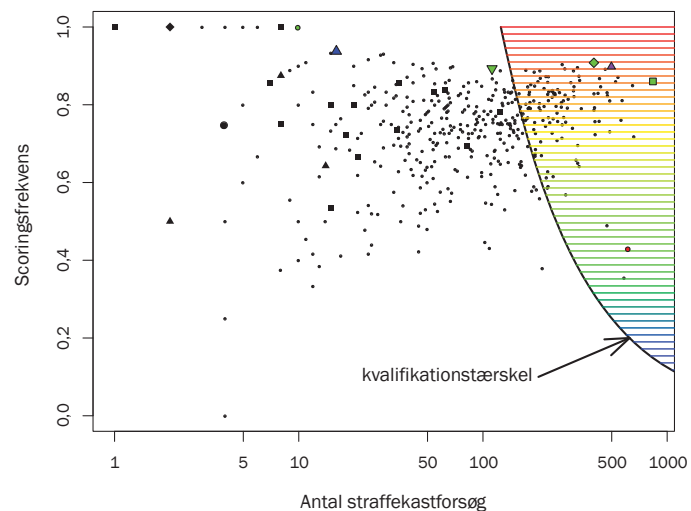
P-værdi-rangering

Jeg er selv involveret i et større studie, hvor vi arbejder med en problemstilling, der minder om opgaven med at rangere straffekastsskytter. I vores tilfælde rangerer vi gener i forhold til, hvor meget de er forbundet med udvikling af kræft. Vi fokuserer på de områder i et gen, der styrer hvor aktivt genet er. Kræft er kendetegnet ved uhæmmet cellevækst, og denne mangel på regulering kan skyldes, at genets aktivitetsniveau er dårligt kontrolleret. Reguleringen af et gens aktivitet styres af et område på 100-1000 nukleotider og kan blive ødelagt af nye mutationer. Vi bruger såkaldte p -værdier til at identificere gener med særligt mange mutationer. I forhold til basketball-situationen svarer længden af genet til antal straffekastforsøg, og antallet af mutationer svarer til antal scoringer. Det er meget almindeligt at rangere enheder i biomedicinsk forskning (i vores tilfælde gener) efter p -værdi.

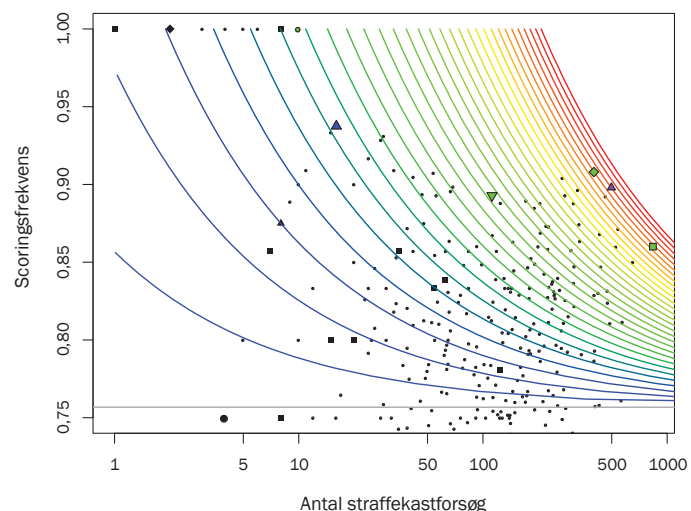
En p -værdi er sandsynligheden for et mindst lige så ekstremt udfald som det observerede under en given model. I dette tilfælde kan vi bruge en model, hvor hvert straffekast har sandsynlighed $p_0 = 0,757$ for at lykkes, idet $p_0 = 0,757$ er sæsonens scoringsfrekvens. Det viser sig, at metoden med p -værdier favoriserer spillere med mange scoringsforsøg. Fx bliver James Harden med denne metode rangeret som nummer 3, mens han i ESPN-rangeringen er helt nede som nummer 19.



Antal straffekastforsøg og scoringsfrekvens for 462 spillere i NBA i sæsonen 2015/16.

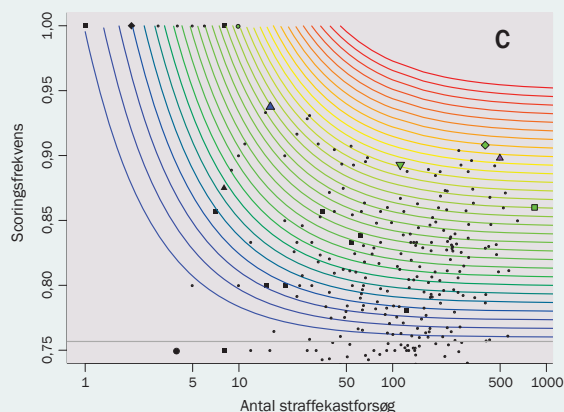
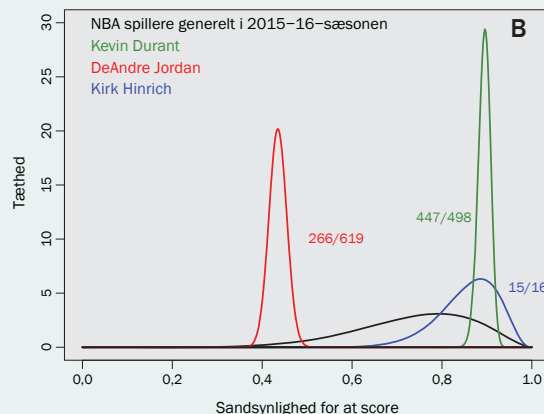
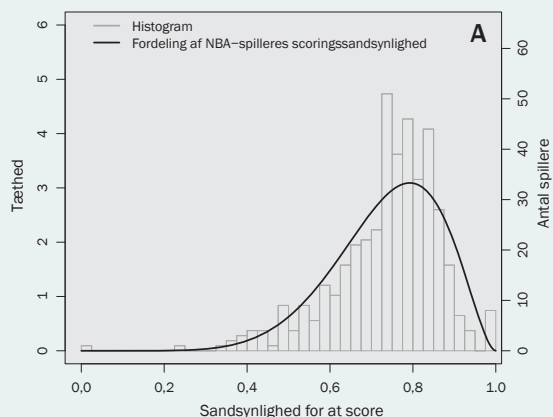


ESPNs rangering af NBA-spillere. ESPN har en kvalifikationstærskel på 125 scoringer for at blive rangeret. De kvalificerede spillere rangeres efter scoringsfrekvens. Rangeringen svarer til at feje ned gennem det farvede område fra rød (de bedste spillere) over gul og grøn (spillere på det jævne) til blå (de dårligste spillere).



Rangering af NBA-spillere efter p -værdi. Farvekoden er som i figuren med ESPN-rangeringen.

Den Bayesianske metode



De tre figurer viser samlet princippet i rangering af NBA-straffekastsskytter med den bayesianske metode.

Den første figur (A) viser fordelingen af NBA-spilleres scorings-sandsynlighed. I NBA er scorings-sandsynligheden 75%, men den varierer meget mellem spillerne.

Den anden figur (B) viser den oprindelige (sorte) og opdaterede fordeling for tre NBA-spilleres scorings-sandsynlighed (Kevin Durant, DeAndre Jordan og Kirk Hinrich). Tallene i figuren angiver antal scoringer og antal forsøg.

Endelig viser den sidste figur (C) rangeringen af NBA-spillerne efter middelværdien af den opdaterede fordeling.

I det supplerende materiale til artiklen på nettet, har jeg beskrevet, hvordan beregningerne af disse fordelinger er foretaget.

Tre metoder til rangering af straffekastsskytter

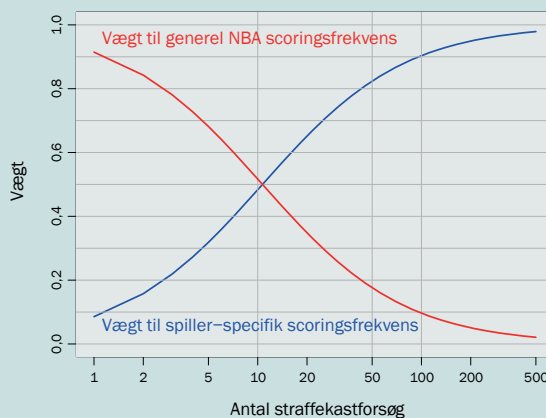
For NBA-spiller i har vi et par (x_i, n_i) af antal scoringer x_i og scoringsforsøg n_i . Der er 462 spillere, så i er et index fra 1 til 462. Scoringsfrekvensen for den enkelte spiller er $\hat{p}_i = x_i/n_i$. De tre forskellige metoder til rangering kan opsummeres i følgende tabel:

Metode	Rangeringsvariabel	Kommentar
ESPN	$\hat{p}_i = x_i/n_i$	Kvalifikationskrav: $x_i \geq 125$
P-værdi	$\sqrt{n_i}(\hat{p}_i - p_0)$	Her er $p_0 = 0,75$
Bayes	$w(n_i)p_0 + (1 - w(n_i))\hat{p}_i$	Se figuren nedenfor

Den Bayesianske rangeringsvariabel er et vægtet gennemsnit af den generelle NBA-scoringsfrekvens p_0 og den enkelte spillers scoringsfrekvens $\hat{p}_i$. Vægten afhænger af spillerens antal straffekastforsøg n_i og er vist i nedenstående figur.

Den røde kurve viser vægten $w(n_i)$ af NBA-frekvensen, og den blå kurve viser vægten $1-w(n_i)$ af spillerens frekvens. Hvis spilleren kun har skudt få forsøg, får NBA-frekvensen en stor vægt, og spillerens frekvens en lille vægt. Ved kun 3 straffekastforsøg er vægten 0,8 til NBA-frekvensen og 0,2 til spillerfrekvensen.

Ved 10 straffekastforsøg er vægten helt lige, mens spillerfrekvensen får en stor vægt ved mange straffekastforsøg, for i det tilfælde



er den pålidelig. Ved flere end 100 straffekastforsøg har scoringsfrekvensen for spilleren således mere end 90% af vægten. I dette perspektiv virker ESPN's kvalifikationstærskel på 125 scoringer temmelig høj.

Den vægtende metode:

Bayesiansk rangering

En tredje mulighed er at bruge Bayesiansk statistik. I Bayesiansk statistik bestemmes først en fordeling af spillernes scoringssandsynlighed, og senere opdateres fordelingen med hensyntagen til den enkelte spillers antal straffekastforsøg og scoringsfrekvens.

En typisk NBA-spiller scorer med sandsynlighed 75%, men variansen er meget stor: 20% af spillerne har en scoringssandsynlighed på over 85%, og 5% af spillerne har en scoringssandsynlighed på under 50%.

Ideen i Bayesiansk statistik er at opdatere den generelle fordeling med data fra den enkelte spiller. Den opdaterede fordeling for scoringssandsynligheden får mindre varians, når spilleren har foretaget mange scoringsforsøg. Man kan rangere NBA-spillerne efter middelværdien af den opdaterede fordeling. Når spillerne har flere end 100 scoringsforsøg, bliver de i høj grad rangeret efter scoringsfrekvens ligesom i ESPN-rangering. Den Bayesianske metode tillader dog også spillere med få scoringsforsøg, men høj scoringsfrekvens, at blive rangeret højt.

Hvad er konklusionen?

Hvem er så den bedste spiller? Den diskussion er heldigvis langt fra slut, men valg af statistisk metode har stor indflydelse på den endelige rangering. I tabellen på denne side har jeg i bedste sportsånd opsummeret de bedste spillere efter "gold first" (samme metode som rangering af lande ved de Olympiske Lege, hvor det bedste resultat er afgørende, og i tilfælde af lighed betragtes det næstbedste resultat).

ESPN og Bayesiansk rangering er meget ens, men den Bayesianske metode anerkender Jarrett Jack for en fantastisk sæson med 100 scoringer på kun 112 forsøg. De 100 scoringer kvalificerer slet ikke Jarrett Jack til at blive rangeret af ESPN.

De bedste NBA-spillere ordnet efter "gold first"

Navn	Scoringer	Forsøg	Frekvens	ESPN	Bayes	P-Værdi
Stephen Curry	363	400	0,908	1	1	2
Kevin Durant	447	498	0,898	3	3	1
Jamal Crawford	245	271	0,904	2	2	7
James Harden	720	837	0,860	19	31	3
Chris Paul	294	328	0,896	4	4	6
Damian Lillard	414	464	0,892	6	5	4
Dirk Nowitzki	250	280	0,893	5	6	12
Isaiah Thomas	474	544	0,871	14	20	5
Khris Middleton	277	312	0,888	8	7	10
Kevin Martin	153	172	0,890	7	8	20
DeMar DeRozan	555	653	0,850	25	43	8
JJ Redick	182	205	0,888	9	9	16
Paul George	454	528	0,860	21	32	9
Kyrie Irving	169	191	0,885	10	13	17
Jarrett Jack	100	112	0,893	-	10	31
Kawhi Leonard	292	334	0,874	11	19	13
Danilo Gallinari	375	432	0,868	16	25	11
Mario Hezonja	49	54	0,907	-	11	54
Klay Thompson	193	221	0,873	12	23	21
Marcelo Huertas	27	29	0,931	-	12	67
Ryan Anderson	199	228	0,873	13	24	19
Reggie Jackson	291	337	0,863	17	30	14
Joffrey Lauvergne	62	69	0,899	-	14	44
Deron Williams	179	206	0,869	15	28	23
Kemba Walker	371	438	0,847	28	48	15

Golden State Warriors har Stephen Curry på holdet, og har i sommer fået tilgang af Kevin Durant fra Oklahoma Thunder. Kevin Durant var den største profil på det amerikanske Dream Team-mandskab, der igen vandt OL-guld i basketball, og af DR-sportens Marco de los Reyes blev han kåret til en af legenes største mandlige stjerner.

Hvis jeg var træner for Golden State Warriors ville jeg håbe, at enten Stephen Curry eller Kevin Durant skal være straffekastskytte i de sidste minutter af den forventede finale i sæsonen 2016/17 mod Cleveland Cavaliers og superstar King LeBron James.

Hvad betyder det i grunden at være bedst? Alle straffekast har ikke lige stor betydning. Straffekastene i de sidste minutter af de vigtigste kampe kan være helt afgørende for sæsonens udfald, mens straffekastene i andre situationer ikke har stor betydning for kampens resultat. De bedste straffekastskytter scorer under maksimalt pres. Modellerne i denne artikel tager ikke hensyn til, hvor vigtigt straffekastet er.

Rangering ved brug af p-værdier er meget forskellig fra ESPN og Bayes. Faktisk er p-værdier slet ikke konstrueret til rangering, men som beskrevet et udtryk for hvor sand-

synligt det er at opnå et mere ekstremt resultat end det observerede under hypotesen. Anvendelse af p-værdier giver spillere med mange scoringsforsøg en urimelig stor fordel. Jeg har tænkt mig snarest muligt at vende tilbage til kræftstudiet for at undersøge, om vi ved valg af p-værdier til rangering har fået for mange lange gener i toppen af listen!

På den måde kan inspirationen til forskningsarbejdet altså sagtens komme fra basketball. ■

Referencer

Nicholas C. Henderson og Michael A. Newton (2015). Making the cut: improved ranking and selection for large-scale inference. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Statistical Methodology)*, 78, Part 4, 781–804.

På Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside kan du finde ekstrap materiale til denne artikel, som går mere i dybden med de matematiske udregninger. aktuelnaturvidenskab.dk/find-artikel/nyeste-numre/5-2016/

KVANTEMAGNETER

- Magneter når de er allermindst

Verdens mindste magneter består af ganske få atomer. På denne skala kan vi observere mærkelige fænomener, fordi atomerne både kan opføre sig som partikler og som bølger. Vi står nu på tærsklen til at kunne udnytte dette i nye former for kvanteteknologi.

Forfatterne



Amin S. Dehkharghani
er ph.d.-studerende
aminsd@phys.au.dk



Niels Jakob Søe Loft
er ph.d.-studerende
nsl@phys.au.dk



Nikolaj Thomas Zinner
er lektor i teoretisk fysik
zinner@phys.au.dk

Alle ved Institut for
Fysik og Astronomi,
Aarhus Universitet

Kvantemagnetisme er et fænomen, der opstår, når enkelte atomer opfører sig som bittesmå magneter. På atomniveau er stof generelt underlagt helt andre fysiske love, og vi skal have fat i kvantemekanikken for at forstå, hvorfor tingene opfører sig, som de gør. I den kvantemekaniske verden skal partikler ofte opfattes som bølger, og dette giver anledning til mange ikke-intuitive fænomener, som »man egentlig bare skal vænne sig til«, som den amerikanske fysiker og Nobelpristager Richard Feynman formulerede det. Vores egen Niels Bohr skal også engang have sagt, at man umuligt kunne tænke over kvantemekanikken uden at blive lidt svimmel.

Den klassiske magnetisme kender vi alle sammen fra magneterne på køleskabet til de indbyggede magneter i højtalere og harddiske. Selvom man længe har kendt til magnetisme og udnyttet den i fx kompasset, så var det først i oplysningstiden, at naturforskere rigtig begyndte at forstå dens rolle i naturen. En lang række eksperimenter udført i løbet af 1800-tallet gav

flere og flere brikker til puslespillet, bl.a. opdagede danskeren H. C. Ørsted, at en elektrisk strøm giver ophav til magnetiske felter. Noget tydede derfor på, at der var et tæt samspil mellem elektrisk strøm og magnetisme. Det var imidlertid skotten James Clerk Maxwell, der som den første indså den røde tråd i samspillet mellem elektriske og magnetiske felter. Han samlede så at sige puslespielsbrikkerne i en række ligninger, der gav en samlet og konsistent beskrivelse af elektromagnetismen.

Maxwells teoretiske mesterværk afsluttede på smuk vis bestræbelserne på at forstå de elektriske og magnetiske fænomener og deres samspil. Generelt var optimismen stor blandt fysikere i slutningen af 1800-tallet. Ud over nogle enkelte eksperimentelle observationer, som man ikke havde fornuftige forklaringer på, så det ud til, at man havde forstået, hvordan verden i bund og grund hang sammen. Lord Kelvin udtalte således selvsikkert i år 1900, at: »der ikke var mere fysik at opdage. Det eneste, der er tilbage, er at udføre mere og mere præcise målinger.«

Magnetisme på atomart niveau

Lord Kelvin kunne ikke have taget mere fejl. I starten af 1900-tallet viste det sig, at de »småting«, man ikke havde forstået, åbnede en helt ny verden for fysikerne: Den mikroskopiske verden af atomer, elektroner og fotoner (lyspartikler), som ikke lod sig beskrive af de gængse fysiske teorier. Den nye teori, der blev udviklet til at forklare den mikroskopiske verden, fik navnet kvantemekanik (kvant = mindste enhed). Selvom teorien fik fast matematisk grund under fødderne, så var dens fysiske indhold til tider svær at forstå og kunne bryde med almindelig intuition. Ikke desto mindre er kvantemekanikken, så vidt vides, helt konsistent og fri for paradokser! Kvantemekanikkens enorme succes illustrerede tydeligt, at verden dybest set skulle forstås kvantemekanisk. For magnetismens vedkommende var dette umiddelbart et problem, fordi man ikke kunne forklare, hvorfor atomerne i nogle stoffer gav anledning til magnetisme, mens andre ikke gjorde.

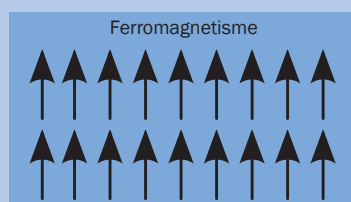
Løsningen på problemet var erkendelsen af, at kvantemekaniske



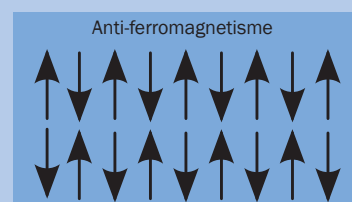
Magnetisme på mikroskopisk niveau

Når en klump jern er magnetisk, skyldes det vekselvirkninger på mikroskopisk niveau mellem de enkelte jernatomer. Hvert jernatom har et mikroskopisk lille magnetisk moment, men når atomerne vekselvirker med de omkringliggende atomer, vil de orientere sig, så de mange små magnetiske momenter peger i samme retning. Derved dannes store områder i jernet, hvor alle atomernes magnetiske momenter peger i samme retning og tilsammen danner et stort magnetisk moment. Dette kaldes ferromagnetisme. En anden type magnetisme, hvor atomernes (eller molekylernes) magnetiske momenter skiftevis peger op og ned i forhold til hinanden, kaldes antiferromagnetisme. De mange mikroskopiske magnetiske momenter udslukker parvist hinanden, og antiferromagnetiske materialer som jernmangan (FeMn) og nikkeloxid (NiO) opleves altså ikke direkte magnetiske på samme måde som jern.

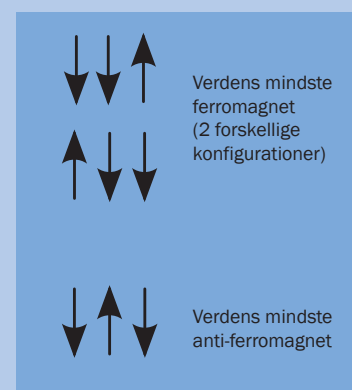
I de en-dimensionelle systemer, vi studerer, danner atomerne typisk



en lignende magnetisk struktur. I vores systemer er det atomernes spin, der udgør det magnetiske moment, og det kan pege i to retninger. Enten ordner atomerne sig i grupper med samme spinorientering og udviser dermed ferromagnetisk opførsel, eller de placerer sig skiftevis med spin op og ned, dvs. ordner sig i en antiferromagnetisk struktur. To atomer med hver sin spinorientering (op og ned) er ikke nok til at danne en magnet, fordi der kun er én mulig konfiguration af de to atomer: At de sidder ved siden af hinanden. Men så snart vi tilføjer et tredje atom (fx med spin op), er der to mulige konfigurationer: De to spin-op-atomer kan sidde ved siden af hinanden (ferromagnetisk), eller de kan sidde på hver sin side



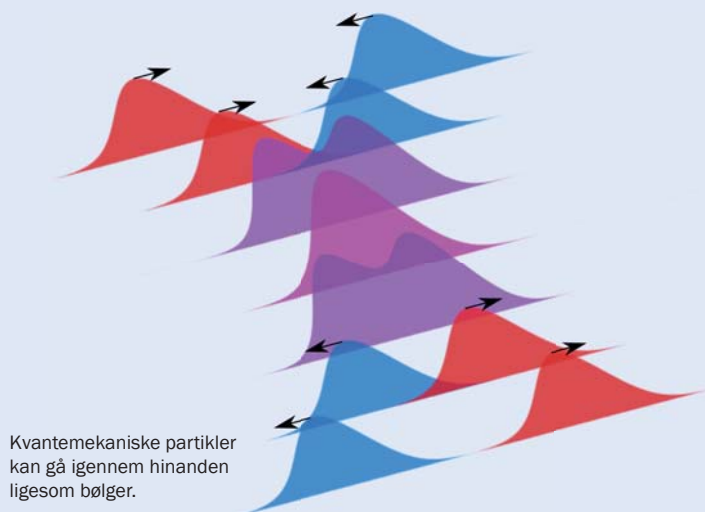
af spin-ned-atomet (antiferromagnetisk). Man kan således hævde, at verdens mindste magnet består af kun tre atomer. Når man tilføjer flere atomer, er det interessant at studere deres konfiguration og se, hvordan magneten opbygges atom for atom.



Partikel-bølge-dualitet

En af fysikkens største opdagelser er, at alt fra lys til elektroner og atomer både opfører sig som partikler og bølger på samme tid. Det kan lyde meget skørt, for i vores hverdag er partikelegenskaber og bølgeegenskaber vidt forskellige. En fodbold opfører sig som en partikel: den er hård, og man kan sparke til den, og det er nemt at sige, hvor den befinder sig. Derimod opfører vandbølger sig meget anderledes: De kan spredes gennem små huller og endda gå igennem hinanden. Så hvorfor overhovedet blande de to ting med hinanden?

Historisk set var det Albert Einstein, der i 1905 først fremlagde idéen om at tænke på bølger som partikler. På den tid havde man svært ved at forklare den fotoelektriske effekt – en effekt, hvor lys er i stand til at slå elektroner løs fra en metaloverflade – ud fra de gængse teorier. Einstein foreslog, at man kunne tænke på lys som en strøm af partikler, kaldet fotoner, og dette kunne forklare den fotoelektriske effekt. Langt senere, i 1924, kom franskmænd Louis de Broglie med et kontroversielt postulat, idet han foreslog, at partikler som elektroner og atomer også kunne opføre sig som bølger. Dermed etablerede han idéen om partikel-bølge-dualitet, altså at både bølge- og partikelegenskaber er en fundamental del af alt stofs natur, hvad enten det gælder lys, elektroner eller atomer. Mange eksperimenter har siden vist, at partikler rent faktisk opfører



sig som bølger, og dermed blev partikel-bølge-dualitet en bredt accepteret kendsgerning. Når atomers bølgenatur normalt ikke kommer til udtryk, skyldes det, at bølgerne er meget små. Kun når vi er på atomar skala er bølgenaturen vigtig, men så snart vi zoomer væk, bliver bølgerne relativt små, og de ligner vel-lokaliserede partikler.

Bølgeegenskaberne gør det også utrolig svært at arbejde med subatomare partikler, da de kan være helt ustyrlige og sprede sig over det hele som en væske, der løber

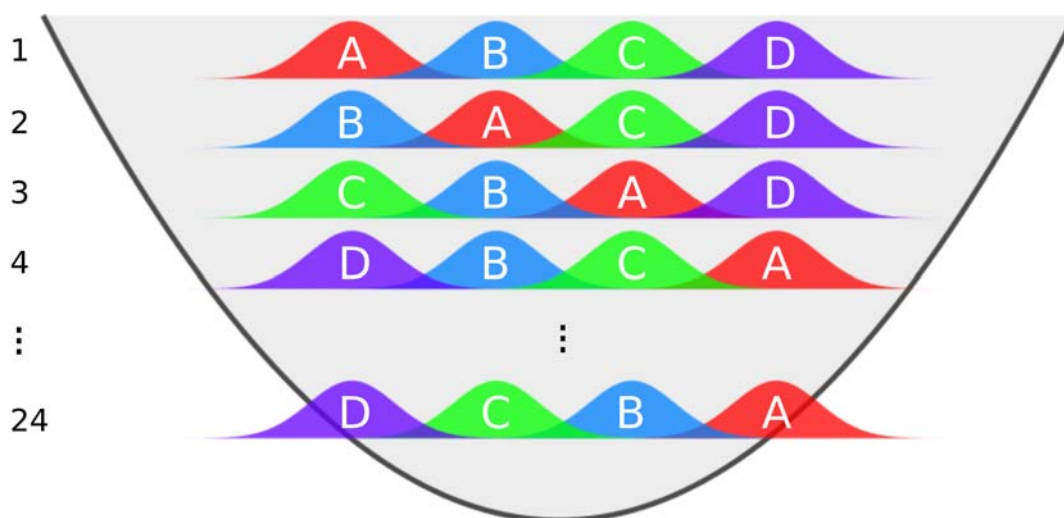
ud på jorden. Men fastholder man partiklerne i én dimension (1D), kan man til en vis grad tæmme partiklerne og præcisere deres position i forhold til hinanden. Det specielle ved 1D-systemer i forhold til 2D og 3D er, at partiklerne kun kan bytte plads med hinanden ved at gå igennem hinanden, da de ellers kan undvige hinanden. Men i modsætning til hårde "partikel-perler", så tillader partiklernes kvantemekaniske bølgenatur, at de bytter plads, danner én kæmpeperle eller transporterer en af perlerne fra den ene ende til den anden.

partikler som atomer og elektroner besidder en egenskab kaldet spin. Partiklens spin giver den et magnetisk moment, hvilket gør den til en lillebitte magnet – dog med et magnetfelt, som er umådeligt svagt. Hvis atomerne blot farer tilfældigt rundt mellem hinanden som i en gas, vil alle magnetfelterne pege i alle mulige retninger, og de vil alt i alt udslukke hinanden. Hvis atomer-

ne ordner sig i en gitterstruktur og dermed udgør et fast stykke stof, fx en stangmagnet, kan atomernes individuelle magnetfelter kollektivt ordne sig på forskellig vis, hvilket kan give ophav til et makroskopisk magnetisk felt.

Det var Werner Heisenberg, en af kvantemekanikkens fædre, der som den første i 1928 løste gåden om

magnetismens ophav. Han lavede en fysisk model, hvori det er fordelagtigt for elektronernes spin at vende i en bestemt retning i forhold til naboerne. Elektronernes spin bidrager til atomernes samlede magnetiske momenter, der altså pga. elektronernes vekselvirkning med hinanden kan vende i bestemte retninger i forhold til hinanden. Derved forstod man, at visse



Fire forskellige atomer fanget i en en-dimensionel fælde kan arrangere sig på 24 forskellige måder. Systemet vil søge den tilstand, der er mindst energirig, og dette bestemmer rækkefølgen af atomerne.

materialer havde tendens til at danne ferromagneter (hvor atomer med magnetisk moment i samme retning grupperer sig sammen), antiferromagneter (hvor atomernes magnetiske momenter er skiftevis modsatrettede), eller nogle "mellemliggende" tilstande, som ikke er pænt ordnede. Heisenbergs model for magnetisme på atomart niveau var meget succesfuld, og trods sin umiddelbare simplicitet har den et rigt fysisk indhold og studeres stadig i stor stil.

De seneste 10 år er der opstået fornyet interesse for Heisenbergs model i atomfysikken, fordi eksperimentalfysikere er blevet så dygtige til at manipulere med enkelte atomer, at man kan studere magneter bestående af blot nogle få atomer.

Perler på en snor

I vores forskningsgruppe på Aarhus Universitet, Institut for Fysik og Astronomi, arbejder vi med den teoretiske beskrivelse af en-dimensionelle magneter bestående af nogle få atomer. Vi bygger altså på en måde videre på Werner Heisenbergs arbejde om atomar magnetisme, men i én dimension. Eksperimentalfysikere kan fange atomer i fælder lavet af laserstråler, og ved at gøre fælden lang og tynd som en cigar sikrer man sig, at atomerne i praksis kun kan bevæge sig i én dimension. Ydermere gør man fælden parabelformet på den lange

led, således at atomerne ikke ryger for langt væk fra hinanden. Når atomerne nu er bundet i én dimension og sidder som perler på en snor, er det klart, at de kun kan bytte plads ved at gå igennem hinanden. Men i modsætningen til perler, som er hårde, så tillader kvantemekanikken, at atomerne opfører sig som bølger, og dermed trænger igennem hinanden.

Siden det er tilladt for atomerne at bytte plads, er det interessant at studere, hvilken konfiguration, de helst arrangerer sig i. Ligesom man bruger Newtons 2. lov til at beskrive fx en fodbolds bevægelse i rummet, bruger man til at beskrive kvantemekaniske systemer af atomer en ligning kaldet Schrödingers ligning. Ved hjælp af Schrödingers ligning har vi vist, hvordan partiklerne placerer sig efter en bestemt rækkefølge, som det kræver mindst mulig energi for det samlede system at være i.

Hvis vi fx har fire atomer (A, B, C og D) siddende på en række i en parabelformet fælde, så kan vi beregne, i hvilken rækkefølge atomerne vil placere sig. Fire atomer giver anledning til $4! = 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 24$ forskellige kombinationer, som atomerne kan ordne sig i. Den kvikke læser kan hurtigt indse, at N atomer kan arrangeres på $N! = N \cdot (N-1) \cdot \dots \cdot 2 \cdot 1$ forskellige måder, hvilket generelt er et ret højt antal. Men med vores

metoder, kan vi helt nøjagtigt beregne, hvilken rækkefølge der er mest energifavorabel for atomerne at sætte sig i, alt afhængig af atomtypen og deres tilstand.

Man kan også lege med omgivelserne eller begynde at manipulere med atomerne, så de ordner sig i den rækkefølge, vi ønsker. Ved at ændre på fældens form og atomernes vekselvirkning kan vi vise, at de mest favorable konfigurationer ændrer sig, og således kan vi næsten fremprovokere en given atomrækkefølge. Dermed kan vi bedre kontrollere den ellers så tilfældige kvanteverden og bedre forstå, hvordan naturlige materialer såsom magneter er opbygget og måske i fremtiden bygge nye materialer helt fra bunden.

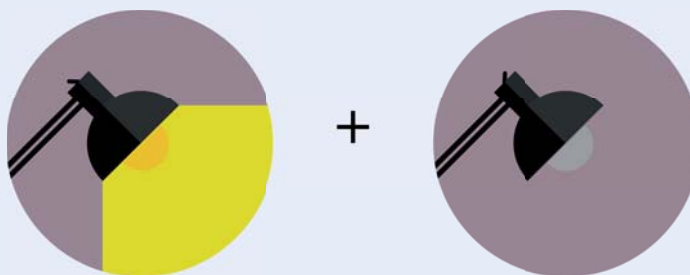
Fra elektronik til spintronik

En ting er, hvordan mikroskopiske magneter er opbygget, noget andet er, hvordan de ændrer sig over tid. Hvis du fx placerer en bold på en skråning og giver slip, begynder den at trille nedad, fordi systemet med bolden på skråningen ikke længere befinder sig i en stabil tilstand. En af fysikkens væsentligste opgaver er at beskrive, hvad der sker, når systemer ikke er i stabile tilstande – fx hvor lang tid går der, før bolden når foden af skråningen, hvad dens fart er osv. På samme vis kan eksperimentalfysikere konstruere kvantemagnetiske systemer i usta-

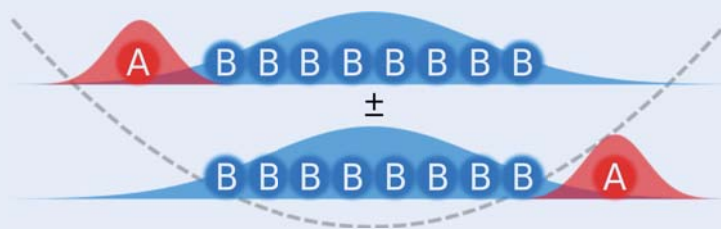
Superpositionstilstande

Ethvert fysisk system er karakteriseret ved de forskellige tilstande, systemet kan befinde sig i. Eksempelvis kan vi forestille os et fysisk system bestående af en lampe, der enten kan være i en slukket tilstand eller en tændt tilstand. Vi kan ikke umiddelbart forestille os, at lampen skulle kunne være andet end enten tændt eller slukket. En kvantemekanisk lampe derimod kan være i en tilstand, der er en blanding af de to tilstande, fx 50% slukket og 50% tændt. Det skal forstås således, at en måling af lampens lysstyrke har 50% chance for udfaldet tændt og 50% for slukket. En måling kan altså ikke give andre resultater end tændt og slukket, og situationen er derfor en helt anden end en lampe, der lyser med halv styrke. En sådan blandingstilstand kaldes en superpositionstilstand, og de spiller en afgørende rolle i kvantemekanikken. Ja, man bruger sågar ofte eksistensen af superpositionstilstande til at afgøre, hvorvidt noget opfører sig kvantemekanisk eller ej.

En interessant tilstand i en en-dimensionel kæde af atomer er en tilstand, hvor atomerne er arrangeret i en bestemt rækkefølge. Et ofte



En kvantemekanisk lampe kan være 50% slukket og 50% tændt på samme tid.



Denne superpositionstilstand består af to tilstande, hvor A-atomet sidder i hver sin ende af kæden af B-atomer. Så A-atomet befinder sig 50% i hver ende.

studeret system består af en kæde af atomer, hvor ét atom er forskellig fra de andre, fx ét enkelt spin-op-atom (eller A-atom), hvor de øvrige atomer i kæden er spin-ned-atomer (eller B-atom). Systemets forskellige tilstande kan karakteriseres ved de forskellige mulige placeringer af spin-op-atomet på kæden. En ganske

interessant superpositionstilstand kan opstå ved at blande de tilstande, hvor spin-op-atomer sidder helt til højre og helt til venstre. Hvis systemet befinder sig i denne tilstand, giver det ikke meget mening at snakke om, at spin-op-atomet befinder sig et bestemt sted, for det befinder sig lige meget i begge ender af kæden.

bile tilstande. Forskerne kan "give slip" på systemet og observere, hvad der sker.

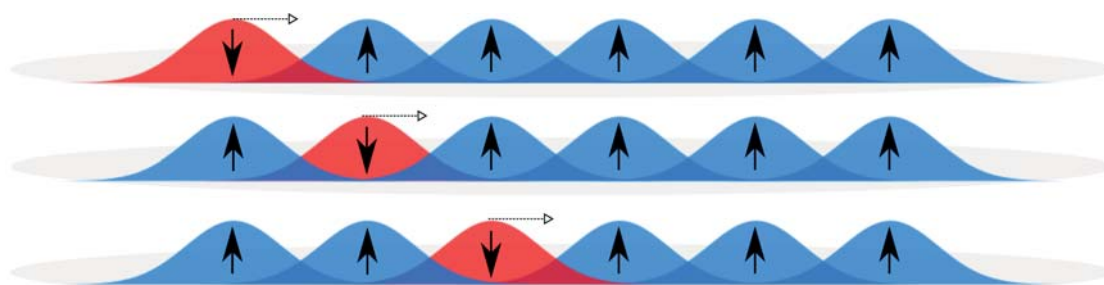
Vi har teoretisk studeret et system bestående af en kæde af 4-20 atomer med samme spin-retning, fx spin-ned, som er en stabil tilstand. Vender vi derimod spinretningen på et enkelt af atomerne i enderne, har vi skabt en ustabil situation, der vil udvikle sig dynamisk over tid. Dette ene spin-op vil vandre rundt på kæden, eller hvad endnu merekeligere er: være flere forskellige steder på kæden samtidigt, altså i en superpositionstilstand. En sådan kaotisk situation er absolut ikke ønskværdig, hvis man er interesseret i kvanteteknologi. Tværtimod vil man gerne have styr på, hvor spin-op-atomet befinder sig, og allerhelst

vil man gerne sikre sig, at spin-op-atomet med 100 % sandsynlighed bevæger sig fra den ene ende af kæden til den anden. Under særlige forhold kan man sikre, at spin-op-atomer netop bevæger sig hele vejen ned igennem kæden, og på den måde har man overført kvanteinformation fra et sted til et andet. Det er analogt til en ledning med strøm, bortset fra at det er bevægelsen af spin og ikke elektroner, der flytter informationen langs ledningen.

Idéen om at bruge bevægelsen af spin og ikke elektroner som informationsstrøm er grundpillen i et nyt forskningsfelt kaldet *spintronics*. Når forskere i dag forsøger at designe fremtidens kvanteteknologier lader vi os gerne inspirere af de velkendte og velafprøvede princip-

per i almindelig elektronik. I vores forskningsgruppe har vi det seneste halve års tid arbejdet på at designe en kvantetransistor. En almindelig transistor er en af de vigtigste komponenter i moderne elektronik. Så en kvantemekanisk version af en transistor, som udelukkende beskymrer sig om partiklernes spin, vil være yderst værdifuld, og den kan blive en af de vigtigste byggeklodser i fremtidens teknologi.

Transistoren er grundlæggende set en knap, der kan tænde og slukke for en strøm. En tændt transistor tillader strøm at passere igennem, hvorimod en slukket transistor slukker for strømmen. I vores kvante-spin-transistor består strømmen af spin, og vi har for nyligt færdiggjort et design til en prototype. Vi



I en kæde af atomer kan kvanteinformation overføres fra den ene ende til den anden ved at det røde spin-ned-atom bevæger sig ned langs kæden af blå spin-op-atomer.

håber i den kommende tid at etablere et samarbejde med en eksperimentel forskningsgruppe, der kan bygge denne kvantetransistor og se, om den fungerer så godt, som vi forventer.

Kvanteteknologierne kommer

Opdagelsen og beherskelsen af elektricitet og magnetisme i 1800-tallet gav os telegraf, elektrisk lys, telefonen, og siden radioen og fjernsynet. Ligeledes gav opdagelsen af kvantemekanikken sig udslag i "den første kvantemekaniske revolution" i form af en række teknologier, som har været fuldstændig afgørende for det moderne samfunds udvikling, fx

laseren, transistoren og halvledere, alt sammen centrale komponenter i nutidens computersystemer.

Vi står nu på tærsklen til "den anden kvantemekaniske revolution", hvor man vil begynde at udnytte kvantemekanikkens eksotiske fænomener som superpositioner og sammenflettede tilstande i teknologi. Kvantecomputere er et højprofileret eksempel, men begrebet kvanteteknologi dækker over en meget bredere vifte af forskellige teknologier, som bl.a. kan bruges til at lave (ubrydelig) kryptering, bedre sensorer til sundhedssektoren og søgemaskiner, som kan behandle de enorme mængder data, som det

moderne samfund producerer.

Denne nye kvanteteknologi vil give os også åbne nye døre og skabe nye muligheder, som vi end ikke har tænkt på endnu. Således er der også en enorm interesse i kvanteteknologi for tiden, hvor bl.a. Canada, USA og Kina er langt fremme. Desuden har EU-Kommissionen for nylig offentliggjort en investering på henved 1 milliard euro dedikeret til udviklingen af kvanteteknologier. Forskning og udvikling i kvanteteknologi er således højt prioriteret over hele kloden. Dygtige forskere og ingeniører, som kan bidrage, er således i høj kurs – og ligeså er engagerede og nysgerrige studerende. ■

Bliv studerende for en dag

Oplev hverdagen på Naturvidenskabelig Bachelor

Følg en studerende til forelæsninger, vejledning og projektskrivning. Spørg løs om de naturvidenskabelige studier og studielivet på Roskilde Universitet. Oplev naturvidenskab i virkeligheden og Science på RUC.

Læs mere på ruc.dk/arrangementer-om-bacheloruddannelser

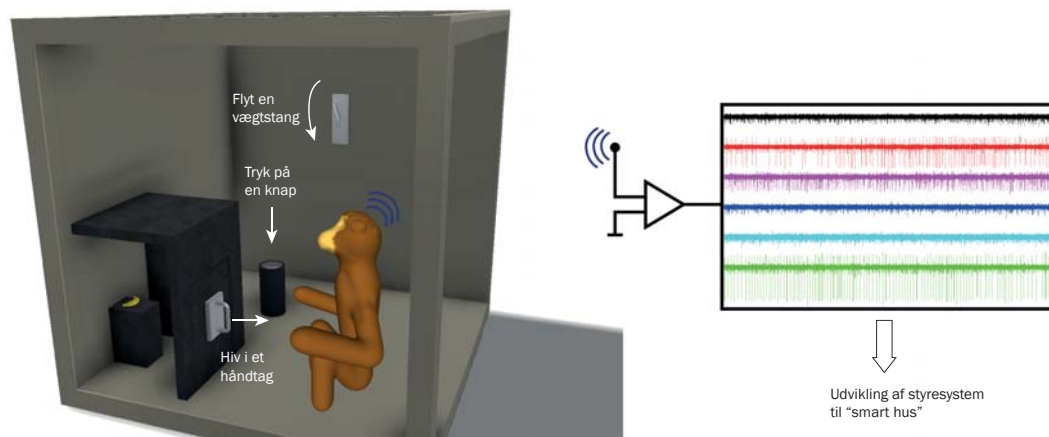
Fagligt
Udviklende
Karrierefremmende



Science på RUC

“Abehjerner” skal styre fremtidens hjem

Forskere kopierer abers hjerneaktivitet for at lægge grunden til fremtidens smarte hjem, hvor alt fra lys og varme til kaffemaskinen kan styres med tankens kraft.



Af Birgitte Dalgaard,
journalist SDU-TEK,
bird@tek.sdu.dk

Tænk på en kop kaffe og kaffemaskinen går i gang med at brygge. Forskere på Syddansk Universitet er ved at kopiere abers tankemønstre for at udvikle intelligente systemer, som kan give tankens kraft en helt ny betydning. De forsøger at få abers hjerner til at smelte sammen med computeren.

»Vores langt-ud-i-fremtiden vision er, at en stærkt handicappet person blot skal tænke på at drikke en kop kaffe, og et intelligent system udfører det samlede kompleks af nødvendige handlinger,« siger lektor Poramate Manoonpong fra SDU Embodied Systems for Robotics and Learning og fortsætter:

»Anvendelserne af en sådan teknologi er næsten ubegrænsede. I enhver situation, hvor vi normalt interagerer med vores computer og robot gennem tale, touch-funktioner, tastaturer eller mus, kunne vi i stedet bare tænke på, hvad vi gerne vil have gjort, og systemet finder ud af det.«

Poramate Manoonpong arbejder inden for det felt, hvor hjerner og robotter smelter sammen og bliver til intelligente systemer. Han er

sammen med sin kollega, adjunkt Jørgen Christian Larsen, med i det europæiske forskningsprojekt Plan 4Act: From Monkey Brain to Smart House Control, som har modtaget 31,5 millioner kroner.

Robotforskere følger nøje hjerneforskningen

Robotforskerne følger nøje den seneste udvikling indenfor hjerneforskning for at finde ud af, hvordan de bedst kan overføre hjernens komplekse og hurtige signaler til robotter eller intelligente systemer. Og det nye er, at det er den hjerneaktivitet, som sker forud for en handling, som er mest interessant.

»Inden vi foretager en handling, planlægger eller simulerer hjernen handlingen, og selve handlingen foretages langt hen ad vejen pr. refleks. Målet med vores forskning er at forstå den forudgående hjerneaktivitet og bruge den viden til at styre og forbedre enheder i fremtidens smarte hjem,« forklarer Poramate Manoonpong og fortsætter:

»Neurofysiologiske studier har for nyligt vist, at mental simulering hos dyr er meget mere udbredt end antaget. Eksisterende hjerne-ma-

skine-interfaces tager ikke hensyn til den hjerneaktivitet, som sker i den fase. Derfor vil vi i projektet begynde med at studere abers forudsigelige hjerneaktivitet.«

Abe udstyret med elektroder

Ved det tyske primatcenter (DPZ) i Göttingen har forskerne udstyret en abe med elektroder, som kan føre abens hjerneaktivitet over i en computer. Aben bliver trænet i at foretage forskellige handlinger og får en godbid, når den gør det rigtigt.

Poramate Manoonpongs og Jørgen Christian Larsens opgave i forskningsprojektet er at udvikle et intelligent styresystem, der oversætter informationerne fra abens hjerne til computersprog, så abens hjerneaktivitet kan bruges til at udvikle bedre styresystemer til fremtidens smarte hjem.

»Vi er fem partnere i forskningsprojektet, og vi har fordelt opgaverne i mellem os, så når forskerne i Tyskland har optaget abens hjerneaktivitet, så sender de optagelserne til os. Vi konverterer dem til præcise kommandoer via vores intelligente styresystem til kontrolsystemet i vores smart house i Spanien,« siger Poramate Manoonpong. ■

Illustration: DPZ

Forskningsprojektet Plan 4Act: From Monkey Brain to Smart House Control består af fem partnere: Universitetet i Göttingen, DPZ - German Primate Center, Syddansk Universitet, Det tekniske universitet i Madrid og TSB Company i Spanien.



Læs til
ingeniør i Aarhus
ingenior.au.dk

HVAD HAR NEWTON AT GØRE MED MODERNE HJERTEKIRURGI?

VI SØGER NATURVIDENSKABELIGE TALENTER
TIL DANMARKS NYE INGENIØRCAMPUS.

VÆLG MELLEM **21** INGENIØRUDDANNELSER
PÅ AARHUS UNIVERSITET.



AARHUS UNIVERSITET





RÅDYRSYGEN BREDER SIG

EU vil fra 2017 reducere svineindustriens forbrug af zink i foderet. EU's kontor for fødevarer sikkerhed har desuden anbefalet, at mængden af kobber i foderet reduceres yderligere. Det er måske godt nyt for bestanden af rådyr, da der stadig er grund til at mistænke zink og kobber for at medvirke til den såkaldte rådyrsyge.

Forfatteren



Søren Wium-Andersen er biolog, cand. scient. Han har været lektor på Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet og miljørådgiver i Danida. Han sad som repræsentant for Danmarks Naturfredningsforening i følgegrupperne for Miljøstyrelsen LOUS review om kobber, i 2013/14 og for den opfølgende DCE-rapport: Belysning af kobber- og zinkindholdet i jord, 2014/15. wium23@hotmail.com

Bestanden af rådyr er gået ned med 2 % hvert år mellem 2010 og 2015. Det viser statistikken over vildtudbyttet for rådyr. Statistikken for 2009/10 viste, at der blev skudt 133.600 rådyr. Antallet var i 2014/15 faldet til 119.200 stykker. Et fald på godt 12 % over en 5 årig periode. Da vildtudbyttet antages at afspejle bestanden, er der næppe tvivl om, at der er sket en ganske væsentlig reduktion af bestanden på ganske få år. Reduktionen skyldes ifølge DCE-rapporten: *Det biologiske grundlag for jagttidsrevisionen 2018*, at den såkaldte "rådyrsyge" breder sig. Rådyrsygen har været kendt i mere end 15 år. Syg-

dommen viser sig ved, at rådyrene får diarré. Dyrene afmagres, og de kan gå til meget hurtigt på grund af væsketab. DCE-rapporten oplyser, at rådyrsygen er hyppigst på Fyn, men at den nu også er konstateret på Vestsjælland og i Østjylland. Enkelte steder menes bestanden ifølge DCE at være reduceret med op til 85 %. Desværre kan dette ikke bekræftes af systematiske opgørelser af bestandene, oplyser DCE i deres rapport. Ældre rapporter fra Center for Vildtsundhed viser, at rådyrsygen har været udbredt over næsten hele landet. En fabrikant af foderstoffer påviste via en række målinger af syge rådyr, at de havde et forhøjet kobberindhold i leveren.

Men på trods af, at rådyrsygen har været kendt i efterhånden mange år, har de myndigheder, der skal følge de vilde dyrs sygdomme, ikke været i stand til at fremlægge en acceptabel forklaring på, hvad der forårsager sygdommen.

Danske bekymringer om kobber og zink

I en artikel i *Aktuel Naturvidenskab* tilbage i 2012: *Biodiversiteten truet af kobber fra landbruget* argumenterede jeg for, at der kan være en sammenhæng mellem rådyrsygen og den konstaterede tilbagegang i harebestandene. Ikke mindst fordi der i landbruget bliver anvendt meget betydelige mængder af kob-

← Rådyr græsser ofte på markerne.
Foto: Palle Sørensen SPbirdPhoto.

→ I en urørt del af den kommende nationalpark "Kongernes Nordsjælland" i Gribskov, er der for få uger siden fældet en rødgran, som er forsynet med en 10 kilo tung lyst rødbrun sliksten. Den er opsat for at øge vægten af gevirene på det lokale hjortevildt. Sliksten består af en saltblanding, der blandt andet indeholder kobber, der kan være skadelig for vildtet i større mængder. Den afbillede sliksten indeholder ikke mindre end 40 gram kobbersulfat.
Foto: Søren Wium-Andersen



bersulfat i foderet. Her har kobber to funktioner. Det virker som en vækstfremmer og det er med til at forhindre den diarré, som smågrise meget let får, da de tages alt for tidligt fra soen.

Men en rapport fremlagt af Naturstyrelsen om rådyrsygen fra DTU-Veterinærinstituttet i 2012 konkluderede, at kobber ikke kunne bekræftes at være årsagen til sygdommen. Et forslag i samme rapport om at gennemføre en undersøgelse af, om der er en sammenhæng mellem svineindustriens anvendelse af kobber og råvildt og harers indhold af spormetaller, blev afvist af Vildtforvaltningsrådets flertal bestående af land- og skovbruget og Danmarks Jægerforbund, mens de grønne organisationer i rådet stemte for, at undersøgelsen burde gennemføres.

Diskussionerne om svineindustriens anvendelse af kobber og senere også af zink fortsatte. Zink har nogenlunde samme indvirkning på smågrise som kobber, men anvendes i større mængder specielt efter 2005, hvor det blev tilladt at anvende medicinsk zink til smågrise i en mængde på 2.500 mg pr. kilo foder i en 14-dages periode. Det årlige kobberforbrug i svineindustrien ligger i dag på cirka 360 tons, mens zinkforbruget ligger på 1.240 tons. Derfor iværksatte Miljøstyrelsen i 2014 en undersøgelse af, om de to

tungmetaller ophobes i landbrugsjorden, da langt hovedparten af metallerne ryger direkte gennem grisene og ud med gyllen. Undersøgelsen *Belysning af kobber- og zinkindholdet i jord* var en opfølgning på en undersøgelse fra 1996, der pegede på, at myndighederne på sigt bør være opmærksomme på jordens kobberindhold. Undersøgelsen blev publiceret i 2015 og viste, at ikke mindre end 200.000 hektar af den danske landbrugsjord indeholder bekymrende mængder af kobber eller zink. Samtidig viste undersøgelser af gyllen, at indholdet af tungmetaller i 3 ud af 11 prøver var så højt, at gyllen burde være kørt direkte på en kontrolleret losseplads, dersom gylle havde været underkastet de samme regler, som gælder for det slam fra renseanlæg, der køres ud på markerne.

Hvor de 200.000 hektar jord med bekymrende mængder kobber og zink er beliggende vides ikke, da landbruget ikke ønsker at oplyse det. Men de mange hektar ligger sandsynligvis lige omkring de bedrifter, hvor der opdrættes smågrise, da det ikke er lønsomt at køre gyllen særligt langt på grund af dens ringe indhold af gødningsstoffer. Hemmelighedskræmmeriet om jordens indhold af tungmetaller vil sikkert resultere i, at landbruget fremover ved salg eller optagelse af nye lån skal stille med en attest, der viser, hvor meget kobber og zink,

der er i jorden, ganske som husere i dag stiller med en attest på fejl og mangler, når de skal sælge deres ejendom, således at køberen ikke efterfølgende står med sorteper. For hvilken forudseende ung landmand eller pensionskasse ønsker at opkøbe jord, der indeholder mere kobber eller zink end godt er?

EU-bekymring om kobber og zink

I 2015 godkendte EU efter den såkaldte decentraliserede procedure, at der kan anvendes medicinsk zink i alle EU-landene. Det skete efter pres fra medicinindustrien bl.a. med henvisning til, at stoffet har været anvendt i Danmark siden 2005 for at reducere forekomsten af diarré hos smågrise. Herefter måtte også Holland og Frankrig, hvor anvendelsen af medicinsk zink havde været forbudt, acceptere anvendelsen af medicinsk zink i smågrise-foder. Men EU benyttede samtidig lejligheden til at stramme op på reglerne fra udbringning af gylle fra svin, der behandles med medicinsk zink. Det skyldes, at myndighederne ved, at zink er meget giftigt overfor vandlevende organismer, og at det kan øge hyppigheden af methicillin-resistente bakterier af typen MRSA 398.

Den generelle tilladelse til at anvende medicinsk zink i hele EU resulterede i, at også den danske Lægemiddelstyrelse udstedte nye

Videre læsning:

Det biologiske grundlag for jagttidsrevisionen 2018. DCE 2016, Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 140 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 195. dce2.au.dk/pub/SR195.pdf

Revision of the currently authorised maximum copper content in complete feed. 2016. www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/4563

Biodiversiteten truet af kobber fra landbruget, Aktuell Naturvidenskab 5-2012. aktuelnaturvidenskab.dk/fileadmin/Aktuel_Naturvidenskab/nr-5/AN5_2012kobberdebat.pdf

Belysning af kobber- og zinkindholdet i jord, 2015, Bak, J.L., Jensen, J. & Larsen, M.M. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 159. dce2.au.dk/pub/SR159.pdf

regler for udbringningen af gylle i foråret 2016, og at miljøstyrelsen udarbejdede en ny "Vejledning vedrørende miljøvurderingen af zink på husdyrbrug" for at undgå en stigende koncentration af zink på de arealer, hvor der udbringes gylle fra svin.

Men EU's bekymringer ved anvendelsen af zink stoppede ikke her. I sommeren 2016 udsendte EU et direktiv, der pålægger EU landene at reducere de mængder af zink, der må tilsættes foderet fra 2017.

Vil EU halvere svineindustriens forbrug af kobber?

Allerede i 2003 var EU bekymret over anvendelsen af kobber i foderet til landbrugsdyrene. Derfor blev der udstedt et direktiv om, at kobberforbruget skulle nedsættes. I svineindustrien betød det, at mængden blev nedsat til 25 mg for slagtesvin, mens smågrise og søer må få 170 mg. Men selv disse tal finder EFSA i dag for høje. EFSA, der er EU's kontor for fødevarerikkerhed, har anbefalet, at kob-

berindholdet i foder til smågrise bør reduceres fra 170 mg til 25 mg pr. kilo foder.

EFSA's anbefaling begrundes med, at der er et behov for at reducere kobberbelastningen af de jorder, der omgiver svineindustrierne og at der er problemer med resistente bakterier forårsaget af tungmetallforureningen med kobber. Følges anbefalingen, vil kobberforbruget ifølge EFSA blive reduceret med 20 % i den europæiske svineindustri. Her i landet vil forbruget af kobber blive reduceret med ikke mindre end 47 % på grund af den meget høje produktion af smågrise.

EFSA's udspil har allerede vakt postyr i svineindustrien, der nu hævder, at EFSA har overset den væksthæmmende evne som kobbertilsætninger har på smågrisene. Et argument som EFSA allerede har afvist med, at alene en forbedret hygiejne og gode sanitære forhold i svinestaldene vil give den samme væksthæmmende virkning.

Genopliv undersøgelsen!

EFSA har udarbejdet en omfattende dokumentation som baggrund for sit forslag om at formindske kobberforbruget. Dokumentet *Revision of the currently authorised maximum copper content in complete feed* blev udsendt i august 2016. Litteraturgennemgangen beskriver den nyeste opfattelse af, hvorledes kobbermetabolismen sker i bl.a. drøvtyggere og efterlader læserne med en undren oven, at landbrugserhvervet modsatte sig en undersøgelse af det danske markvildt i 2012. For mange af vore almindelige drøvtyggere tåler mindre kobber end tidligere antaget, og samtidig synes andre stoffer som molybdæn at indvirke på metabolismen.

På baggrund af EFSA's rapport ser jeg gerne den tidligere afviste undersøgelse gennemført snarest muligt, ikke mindst for at afdække om tilbagegangen i bestandene af rådyr og harer er påvirket af landbrugets anvendelse af såvel kobber som zink. ■

ROBOT-WORKSHOP

- Matematik i robotter

For mennesker er det en simpel opgave at bevæge hånden fra én position til en anden. For en robot-arm er det en noget mere kompleks opgave.

Workshoppen gennemgår:

- En robot-arms konstruktion og virkemåde
- De matematiske principper bag forlæns og baglæns kinematik
- Styring af robot-armen via en micro-controller
- Basal programmering af en robot-arm.

Workshoppen tilbydes i to varianter:

- En, der omhandler matematikken og elektronikken bag positionsbestemmelser og styring af en robot-arm (2-3 timer)
- En, hvor eleverne desuden afprøver matematikken i praksis på en robot-arm, som de selv programmerer (6-7 timer).

Se og book alle vores foredrag og brobygningstilbud på www.sdu.dk/tek/brobygning

Kontakt os for nærmere information:

Tlf. 6550 7444 / brobygning@tek.sdu.dk



BØGER

Syv små forelæsninger om fysik

Fysikprofessor Carlo Rovellis 80 siders lille bog er oversat af Thomas Harder til et letlæst og behageligt dansk. En fornøjelse at læse!

Emnerne, som Carlo Rovelli har udvalgt at fortælle om, er de mest moderne, mest avancerede fysiske emner, man kan tænke sig. Han begynder med Albert Einsteins Generelle Relativitetsteori, som han benævner "Den smukkeste af alle teorier", så følger historien om "Kvanterne", "Kosmos' Arkitektur", "Partikler", "Rumkorn", "Sand-synlighed, tid, og de sorte hullers varme" og endelig "Til slut: Os". Forordet angiver, at bogen er skrevet for dem, der ikke ved noget om moderne naturvidenskab. For en fysikprofessor betyder naturvidenskab naturligvis fysik.

Fraværende matematik

Fortællingerne er udvidede udgaver af avis-artikler udgivet i italienske aviser og må vel have det overordnede formål, at vække interesse hos menigmand for fysikken, specielt den moderne af slagsen. Det undrer mig, at man, hver gang interessen for fysikken skal fanges i såkaldt populærvidenskabelig litteratur, vælger de mest avancerede og uafklarede emner, som ikke engang det videnskabelige samfund har fuldstændigt styr på. Disse emner er endvidere karakteriserede ved at hvile tungt på et matematisk fundament; et fundament, som i sagens natur er fuldstændigt fraværende hos lægmanden. Kun ét sted i bogen antydes matematikkens uundgåelige tilstedeværelse, og det er i slutningen af det første kapitel om den smukkeste teori, hvor det hedder:

»Alt dette var resultatet af en elementær tanke: Rummet og feltet er én og samme ting. Og af en enkel ligning, som jeg ikke kan lade være med at gengive her. Læserne vil

givetvis ikke være i stand til at tyde den, men de skal i det mindste se, hvor overordentlig enkel den er:

$$R_{ab} - \frac{1}{2}Rg_{ab} = T_{ab}$$

Det er det hele.

Det kræver selvfølgelig en læreproces at fordøje Riemanns matematik og at beherske den teknik, der skal til for at læse denne ligning. Det kræver en vis indsats og anstrengelse. Men ikke så store, som dem, der skal til for at opfatte den sjældne skønhed i en af Beethovens sidste kvartetter. I begge tilfælde er belønningen skønheden og nye øjne at se verden med.»

At sælge denne tensorligning med bemærkningen "Det er det hele" nærmer sig et brugtbilforhandlerkneb, og jeg er sikker på, at jeg langt lettere vil kunne nyde Beethovens musik end forstå dybden i ligningen.

Om at "sælge" fysik

Det er beundringsværdigt at ville drage i felten for fysikkens udbredelse, men jeg er bange for, at Rovelli jager folk væk, når han antyder, at teoretisk fysik skulle være nemt, og at han kan ligge på stranden og få åbenbaringer om den teoretiske fysik.

Ligeledes finder jeg det uærligt at ville dølge matematikkens helt fundamentale betydning for fysikkens formulering. Undertrykker man matematikkens betydning i fysikken forsvinder forståelsen af fysikken og tilbage bliver en refererende fortælling, som kunne benævnes naturhistorie. Forståelsen af den døde naturs opførsel på basis af de grundlæggende naturlove; love formuleret i matematikkens sprog, er fysikkens adelsmærke.

Rovellis arrogante tone i den lille bog virker på mig som dårlig markedsføring! ■

FAKTA

Carlo Rovelli: *Syv små forelæsninger om fysik*, oversat af Thomas Harder. Gyldendal 2016. 80 sider, 99,95 kr.



Anmeldt af
lic. techn. Carl-Erik Sølberg,
carleriksoelberg@gmail.com

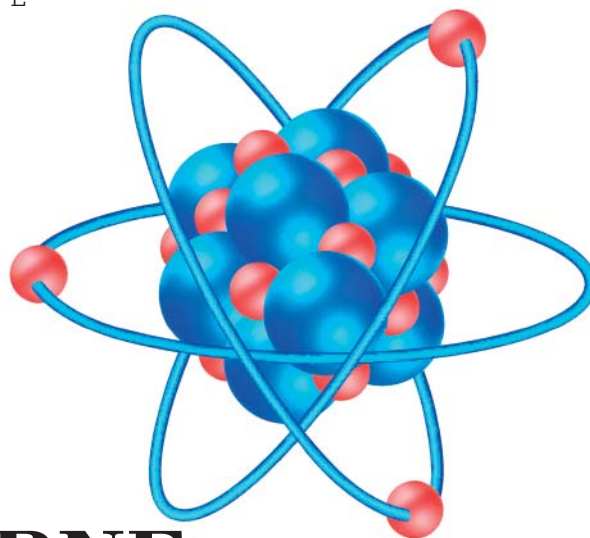


Illustration: Colourbox

KVANTE- BANDITTERNE KOMMER

Forfatter



Majken Brahe Ellegaard Christensen, astrofysiker og Kvantebanditternes fysikformidler. mec@cp3-origins.net

Nysgerrighed, viden, fantasi og undren er fællesnævneren for det nye store formidlingsprojekt Kvantebanditter hos grundforskningscenteret CP3-Origins (Centre for Cosmology and Particle Physics Phenomenology) på Syddansk Universitet.

Kvantebanditter-projektet er kommet til verden på initiativ fra professor Francesco Sannino, professor mso Claudio Pica og lektor Thomas Rytto, som altid har ment, at det er cool at være klog. De tre forskere har tidligere på året fået tildelt 4 mio. kr. fra A.P. Møller og Hustru Chastine Mc-Kinney Møllers Fond til almene Formaal til at opfylde netop den drøm, det er at dele begejstringen for kvanteuniverset med resten af befolkningen de næste 5 år.

»Kvanteuniverset skal ikke bare være noget, der er forbeholdt forskere og videnskabsfolk. Det skal ud i børnehaverne og grundskolen – ud til alle, men jo tidligere jo bedre. Jeg ser på mine egne og andres børn, og jeg vil gerne have, at de skal være en del af verden og af fremtiden – og fysikken spiller altså en meget stor rolle i alt. Samtidig er der alt for meget talents-

how og X-Factor i samfundet. Alt for meget "åndelig fastfood" og alt for lidt "French cuisine",« siger Francesco Sannino, der samtidig med at være leder for CP3-Origins også er professor i teoretisk fysik på SDU.

Kvantebanditter bygger på seks forskellige initiativer:

- *Små kvantebanditter* er rettet mod de små i aldersgruppen 4 – 12 år. Gennem besøg i folkeskolerne skal børnene lære om solsystemet, energi og den subatomare verden.
- *Kvantefronter* er rettet mod unge fra 12 år og opefter, som præsenteres for kvanteverdens mysterier. Udgangspunktet bliver noget meget velkendt for de unge elever: nemlig store blockbuster-film som fx Interstellar, hvor forskerne vil forklare fysikken i filmene og forklare, hvad er fakta og fiktion.
- *Kvantebanditter Cartoons* er en helt ny produktion af tegnefilm om kvanteuniverset, som forventes udgivet i 2017.
- *Formidlingsportal*: Materiale fra Kvantebanditter skal gøres tilgængeligt online til brug fx i undervisning og samtidigt laves interaktive spil og underholdning for den brede befolkning.
- *Kvanteby* vil møde mennesker udenfor de formelle rammer, som fysik ofte præsenteres i. Her skal videnskaben ud på cafeer, biblioteker og andre steder i byen, hvor folk inviteres til få stillet deres nysgerrighed – og snakke med forskerne i afslappede omgivelser.
- Derudover udvikles et talentprogram for de allerskarpeste hjerner i gymnasierne og blandt de unge universitetsstuderende.

»Vi har brug for flere banditter på fysik og i naturvidenskab i det hele taget. Med banditter mener jeg dem, der tør tænke utraditionelt, være rebeller i deres ideer og løsninger, og dem som ikke lader sig begrænse af de gængse regler og rammer. Vi skal fortælle vores børn, at man er sej – især hvis man interesserer sig for naturvidenskab. Børn er nysgerrige af natur, og det er denne nysgerrighed, vi gerne vil stimulere gennem Kvantebanditter,« slutter Francesco Sannino

Læs mere på www.cp3-origins.dk/kvantebanditter

Nye undervisningsmaterialer

På hjemmesiden aktuelnaturvidenskab.dk kan du finde nye undervisningsmaterialer beregnet på undervisningen i gymnasiet:

Ølbrygning – avanceret bioteknologi

Artiklen om ølbrygning i dette nummer er perspektiveret af et omfattende materiale til et undervisningsforløb om øl, enzymer og kulhydrater. Materialet omfatter fx arbejdsspørgsmål til artiklen, perspektiverende spørgsmål, øvelsesvejledninger og lærervejledning. Materialet er udarbejdet af Jacob Højgaard Thinggaard, Viborg Gymnasium og Hf og kan bruges i fagene kemi (eventuelt i samarbejde med biologi) og bioteknologi.

Vitaminer til hjernen

Materialet er knyttet til artiklen med samme navn forfattet af Pernille Tveden-Nyborg og Jens Lykkesfeldt i nr. 4/2016. Undervisningsmaterialet er lavet af Dorte Friis Nyhagen og Sarah Ward fra Aarhus Statsgymnasium. Materialet kan anvendes på A- og B-niveau i biologi, samt i bioteknologi A.

Quiz om biodiversitet

Prøv også den nye quiz Syv spørgsmål om biodiversitet, som er lavet af lektor Finn Borchsenius fra Aarhus Universitet. Quizzen er lavet i anledning af forfatterens foredrag i foredragsserien Offentlige Foredrag i Naturvidenskab, der blev live streamet til en lang række byer i landet. Emnet knytter fint an til to artikler i Aktuel Naturvidenskabs arkiv: Hvor blev alle de store dyr af? fra nr. 4/2014 og Verdens skove er præget af fortidens klima fra nr. 4/2016. Find quiz og artikler på aktuelnaturvidenskab.dk.

Materialerne og quiz er lavet som led i projektet Aktuel Naturvidenskab i gymnasiet, finansieret af VILLUM FONDEN. Alt er frit tilgængeligt på hjemmesiden.



Intropakken – en oplagt gaveide!

Bestil en intropakke med de seneste otte numre samt abonnement i ét år (6 numre). Pris kun kr. 354,- inkl. moms, porto og ekspedition (merpris for udland).

Bestil via aktuelnaturvidenskab.dk
red@aktuelnaturvidenskab.dk
 eller på tlf. 70 25 55 12.

Abonnementsservice

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

Kontakt abonnementsservice på

Telefon: 70 25 55 12
 Mandag-torsdag kl. 8-16, fredag kl. 8-14.
aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

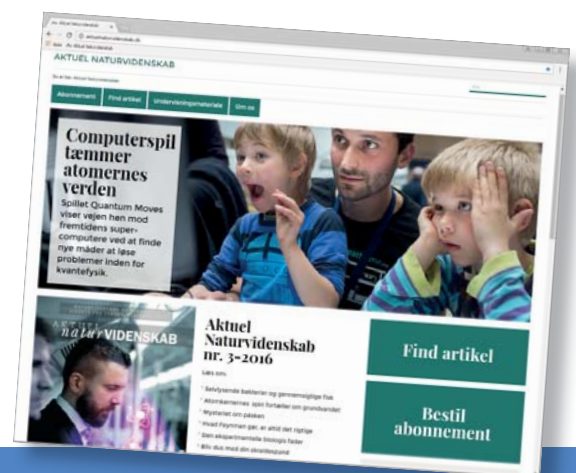
Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

Hjemmeside piftet op

Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside er blevet shinet op, så den forhåbentlig både er mere appetitlig at se på og nemmere at finde rundt på. Du finder bl.a. på hjemmesiden indgangen til vores omfattende artikelarkiv, som tæller ca. 1200 artikler.



Oprydningssalg

Mangler du nogle numre af bladet? Så er der nu en chance for at supplere samlingen med dette tilbud:

Tilbudspakke med ældre ikke udsolgte numre ca. 26 blade (fra år 2007-2015):

Pris kun 250,- inkl. porto (dk) og moms.

Se mere og bestil via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk eller på telefon 7025 5512.

Nyhedsbrev

Tilmeld dig det elektroniske nyhedsbrev og få nyt om Aktuel Naturvidenskab i din mailboks.

Du får:

- Artikler på forhånd, når der er en aktuel anledning
- Appetitvækkere og link til artiklerne digitalt
- Information om andre aktuelle tiltag.

Tilmeld dig via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Mød os på [Facebook.com/aktuelnaturvidenskab](https://www.facebook.com/aktuelnaturvidenskab)

Kunst og kemi i svovl-parløb

Af Sanne Holm Nielsen, Aalborg Universitet

Det syder og bobler i gryden, og lugten er ikke til at tage fejl af. Svovl i rigelige mængder nærmer sig sit smeltepunkt på knap 120 grader. Ved siden af gryden med det smeltede gule grundstof nummer 16 ligger en stor silikoneform.

Det er ikke en helt almindelig dag i laboratoriet på Aalborg Universitets Institut for Kemi og Biovidenskab. På denne dag har de to kunstnere Markus von Platen og Johan Rosenmunthe nemlig indtaget laboratoriet sammen med en gruppe studerende. Her skal de i fællesskab støbe skulpturer af 125 kg svovl ud fra en metode, de studerende er nået frem til gennem deres studie.

Resultater, der påvirker

Det lidt utraditionelle samarbejde er opstået, efter de to kunstnere henvendte sig til AAU Matchmaking med ønsket om at integrere et nyt materiale i deres kunstværker. Den bold greb to forskere og 12 studerende på kemiuddannelsens 2. semester, og de har nu udviklet metoder til støbning med svovl.

»Det har været sjovt og spændende at være med i et projekt, hvor nogen helt konkret har haft brug for det, vi er nået frem til. Så da vi skulle vælge emne, vægtede det tungt, at vi skulle arbejde sammen med nogen om projektet,« fortæller Luna Gade, der er en af de 12 studerende, der har deltaget i svovl-projektet.

Undervejs i projektet har de studerende været i dialog med kunstnerne flere gange. De har bl.a. holdt skypemøder, og da projektet var afleveret, mødtes de studerende med kunstnerne for at præsentere deres resultater.



Johan Rosenmunthe og Luna Gade støber med svovl.

Foto: Sanne Holm Nielsen

»Noget af det, som kunstnerne har kunnet bruge vores resultater til, er fx til at finde ud af, om svovlskulpturerne ville lugte så meget, at de skulle præsenteres i glasmontrer på udstillingen. Nu ved vi, at lugten af svovl fortager sig i løbet af en uge i ventilerede omgivelser, og at det derfor ikke er nødvendigt, at lukke dem inde,« fortæller en anden af de studerende, Kathrine Steendahl.

Nyt terræn for kunstnere og forskere

For kunstnerne har tilgangen også været ny. »Vi havde selv overvejet svovl som materiale, men havde behov for at få bekræftet, at det var muligt at støbe skulpturer af det. Derudover havde vi behov for at finde ud af, om det var giftigt, og hvor meget det ville lugte,« fortæller kunstner Markus von Platen.

Forskerne Mads Koustrup Jørgensen og Thorbjørn Terndrup Nielsen har også været ude af deres komfort zone i løbet af projektet: »Vores største udfordring har været, at vi har skullet være garanter for, at de studerende kunne bruge projektet som en eksamen på deres kemistudie. Derfor har det været afgørende, at projektet hele tiden har holdt sig inden for en ramme, hvor de studerende har fået en masse kemifagligt ud af det – og ikke at det bare har været et "sjovt projekt",« siger Thorbjørn Terndrup Nielsen.

De færdige skulpturer bliver udstillet som en del af udstillingen CORE MANTLE CRUST i Kunsthall Nord i Aalborg, som løber frem til den 18. december 2016. ■