

Aktuel NATURVIDENSKAB

6 | DECEMBER 2012

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00

TEMA: Exoplaneter

- 10 milliarder planeter som Jorden
- Er der liv derude?

VERDENS STØRSTE BAKTERIER

ABELPRISEN: KOMBINATORIK I EN KLARSYNET HJERNE

ER DEN PERFEKTE KLON REN UTOPI?



Er god natur demokratisk?

Af Hans Henrik Bruun,
hhbruun@bio.ku.dk
Jacob Heilmann-Clausen,
Anders P. Tøttrup og
Birgitte I. Rasmussen

Hjemmeside for
Biodiversitetssymposium
15.-16. april 2013:
<http://macroecology.ku.dk/dk/biodiversitetssymposium2013/>

De fleste danskere har en mening om hvad "god natur" er. For nogle er idealet det produktive landskab med bugnende kornmarker, rådyr i vildtremisen og måske en lærke, der synger på himlen. De fleste naturentusiaster og biologer vil nok snarere se det beskrevne landskab som en biologisk ørken, hvor gødskning, dræning og pesticider har fjernet de sidste ansatser til vild og spontan natur. Denne store afstand i natursyn kan indimellem gøre det svært at debattere fremtiden for forvaltningen af vores natur, for hvordan skal vi afveje de divergerende synspunkter? I et demokrati er alle holdninger og synspunkter principielt ligeværdige, men der kan derimod være stor forskel på værdien af de argumenter, der ligger bag. Og hvis målsætninger og virkemidler er veldefinerede, så handler det i høj grad om argumenter.

Første skridt for at finde en fælles demokratisk platform at debattere på, er derfor at definere nogle målsætninger for tilstanden af vores allesammens natur. Her har Folketinget indtaget et klokkeklart standpunkt. Det er en officiel politisk målsætning at standse tabet af biodiversitet inden år 2020 og at sikre "gunstig bevaringstilstand" inden for de særligt udpegede større sammenhængende habitatområder og i øvrigt i de særligt beskyttede habitatnaturtyper, fx lobeliesø og højmoser, også hvor de forekommer udenfor habitatområderne. Med disse målsætninger for god natur som udgangspunkt, er det muligt at argumentere sagligt baseret på fakta og virkelige årsagssammenhænge.

Fra erfaring til forskning

I Danmark har vi en stærk tradition for konsensusdemokrati. Love dekretes ikke blot fra oven, men bliver til gennem en proces, hvor berørte parter og interesseorganisationer høres, og hvor alle hensyn til diverse grupper mere eller mindre modstridende interesser vejes mod hinanden. Dette system dur dog ikke, når det handler om definitionen af god natur. For eksempel er Habitatdirektivet en ret absolut størrelse, som ikke skal afvejes mod andre vitale samfundsinteresser, og noget lignende gælder for Rio-konventionens og EU-landendes fælles beslutning om at standse tabet af biodiversitet. Men konsensusdemokratiets arv strækker sig langt ind i den professionelle naturforvaltning. Et kig på nationalparkernes bestyrelser og råd afslører, at de er sammensat efter helt traditionelle mønstre, hvor alle interesseorganisationer med en vis vægt har ét mandat hver.

Ligeledes har vi i Danmark en tradition for erfaringsbaseret naturforvaltning, ofte med rod i gamle hævdvundne landbrugs- og skovbrugstraditioner. Erfaring er naturligvis altid god at have, men skal erfaring have almen gyldighed skal den kobles til veldefinerede målsætninger og omsættes til almenlydig viden og klare virkemidler

– eller sagt med andre ord: forskning. Ligesom man i høj grad er gået fra en lægevidenskab baseret på den enkelte læges erfaring til kliniske undersøgelser og evidensbaseret medicin, er der et påtrængende skifte undervejs inden for naturforvaltningen i Danmark og andre lande.

En risiko ved den vidensbaserede naturforvaltning er, at den kan virke elitær, uforståelig. Hvorfor skal vi beskytte uanselige svampe og ådselbiller, hvis vi uden udgifter kan få rådyr og fasaner i massevis? Rødlistede arter er ikke nødvendigvis hverken sexede eller efterspurgt i den brede offentlighed og god natur kan godt være både uæstetisk og disharmonisk. Ekskrementer, ådsler og rådne træstammer er uundværlige levesteder for en række organismer, som er blevet meget sjældne i takt med udnyttelse og oprydning. Og der er et akut behov for flere af sådanne levesteder også selvom et flertal i befolkningen måtte finde dem ulækre og unødvendige. Nu behøver man jo ikke ligefrem at lade ådsler af rådyr ligge på skovens bedste picnicplads eller lade den gamle bøg stå og forfalde lige ved den mest befærdede sti.

Tid til at lytte

Heldigvis viser mange undersøgelser, at der er bred opbakning i den danske befolkning til at beskytte og fremme biodiversiteten. Også selvom det koster noget i form af, at samfundet afstår fra at udnytte naturgrundlaget til økonomisk gevinst, og også selvom "biodiversiteten" for en stor dels vedkommende populært sagt består af "små, brune møl, der ikke er til at kende hinanden". For ikke så mange årtier siden var der sandsynligvis flertal i befolkningen for nådesløs forfølgelse af rovfugle og odder, der blev betegnet som skadedyr. I dag er der begejstring for genkomsten af havørn og rød glente og tilsyneladende også flertal for at lade ulven genindvandre. Holdninger skifter.

I økosystemer taler man om begrænsende resurser, fx kvælstof eller fosfor. I et demokrati er den vigtigste begrænsende resurse ofte tid – tid til at lytte til hinandens synspunkter og argumenter. På Biodiversitetssymposiet 15.-16. april 2013 river forskere, naturforvaltere, konsulenter og NGO-folk to dage ud af kalenderen og mødes på Københavns Universitet for at tage sig tid til at lytte til hinanden, blive klogere og for at afprøve argumenter og lade meninger brydes. Nogle af de emner, der bliver mulighed for at drøfte og blive klogere på er; Evidensbaseret forvaltning af Danmarks natur; Økosystem ydelser; Citizen science, Klimaændringer; Dansk natur i en international kontekst og ikke mindst Visionerne for dansk natur i kølvandet på Natur og Landbrugs-kommisionens anbefalinger, der offentliggøres kort før symposiet. ■

Indhold

FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
Er den perfekte klon ren utopi?.....	6
Springhalers overlevelse i sommertørken	10
Abelpris til informatikkens teoretiske stjerne	12
10 milliarder planeter som Jorden – hvor er beboerne?.....	16
Er der liv derude?	22
ALMA – porten til det kolde, støvede og fjerne univers	26
Verdens største bakterier.....	30
Havets plankton bremser klimaændringer.....	36
Membranen sladrer om ionpumpers funktion.....	42

PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: Er god natur demokratisk?	2
Boganmeldelse: Dr. Zukaroffs Testamente	49
Service	50
Bagsiden: Kunsten at være interdisciplinær	52

6

Er den perfekte klon ren utopi?

Forskning viser, at klonede grise ofte er lige så forskellige som naturligt avlede grise. Det er et problem, hvis man antager, at kloner er ens. Og hvad skyldes de uens kloner?



16

TEMA: Exoplaneter Er der liv?

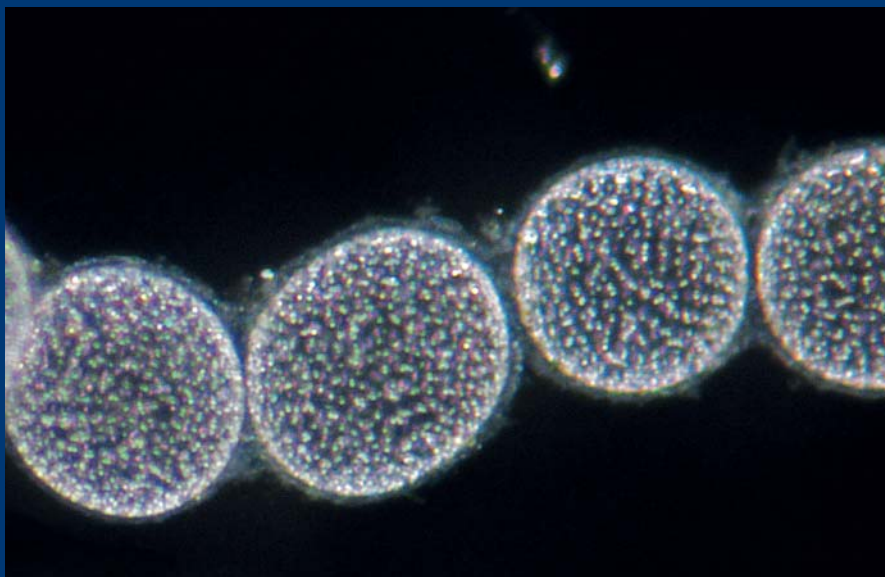
Vi ved i dag, at Universet vrimer med planeter. Udfordringen for forskerne er nu at afgøre, om forudsætningerne for liv er til stede på nogle af disse exoplaneter, og ultimativt at afgøre, om der faktisk er liv. Forskerne præsenterer nogle af deres metoder her i dette nummer.



30

Verdens største bakterier

Bakterier er mikroskopiske og enkeltcellede, lyder en af biologiens grundsætninger. Men nede på havbunden lever en usædvanlig gruppe af svovlbakterier med centimeterlange og mange-cellede bakterietråde. Svovlbakteriernes størrelse hænger nært sammen med deres overraskende levevis, og de har en afgørende betydning for havets økosystem.





En Goby-fisk skjuler sig i et koralrev ved Fiji-øerne. Grønne trådalger har invaderet korallen, men når korallen afgiver et kemisk signal, rykker fiskene ud og fjerner de uindbudte gæster.

Kemisk krigsførelse

Koraller under angreb af giftige alger har et effektivt forsvarsmiddel: De alarmerer deres bestand af logerende fisk, der straks giver sig til at befri korallerne for plageånderne. Forskere ved Georgia Institute of Technology, USA, har undersøgt hvordan fisk tilhørende gruppen af såkaldte Goby-fisk reagerer, når deres levesteder trues. Fiskene "bor" i korallerne og får derved både skjul og til dels også noget at leve af, da fiskene bl.a. har slim fra korallerne på menuen. Til gengæld for disse ydelser fungerer fiskene som korallernes bodyguards.

Man har længe vidst, at fisk spiller en væsentlig rolle for koralrevens tilstand ved at græsse på de alger, der gror på korallerne. Men den nye undersøgelse viser, at korallerne aktivt signalerer til fiskene med et kemisk signal, når de invaderes af trådalgen *Chlorodesmis fastigiata*. Denne alge er specielt giftig for korallerne og kan dræbe korallerne, hvis ikke de forholdsvis hurtigt fjernes. Fiskene – i forskernes undersøgelse to forskellige arter af Goby-fisk (*Gobidon histrio* og *Paragobidon enchinocephalus*) – reagerer inden for få minutter på det kemiske signal, og begynder at fjerne de formastelige trådalger. Det viste sig, at den ene af fiskearterne faktisk spise algen (hvorved den opnår den fordel selv at blive giftig for rovdyr), mens den anden blot bed stykker af og spyttede dem ud igen.

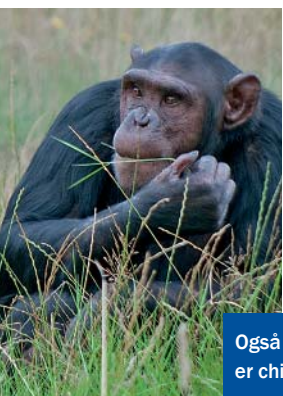
Ifølge forskerne er det dog første gang, at man har observeret, at en art via et kemisk signal får en anden art til at fjerne konkurrenter.

CRK. Kilde: Science vol. 338, p 804-807. www.nsf.org

Foto: Danielle Dixon

Slægtskab og tarmbakterier

At mennesket og chimpansen genetisk set er meget ens har længe stået klart. Nu viser det sig, at vi også deler den basale sammensætning af tarmbakterier med vores nære slægtning. For relativt nylig er det blevet vist, at bakteriesamfundet i det menneskelige tarmsystem opdeler sig i tre overordnede typer, kaldet "enterotyper", der hver især er domineret af et specifikt sæt af bakterier. Nu har Howard Ochman fra Yale University, USA og kolleger undersøgt tarmbakterier fra 35 chimpanser fra Gombe Stream National Park i Tanzania. Det viste sig, at der også blandt disse 35 chimpanser kunne identificeres tre enterotyper af tarmbakterier, som havde en tilsvarende sammensætning som man finder i mennesket.



Resultaterne antyder, at denne variation i tarmbakterier med organisering i enterotyper, er et gammelt udviklingstræk, der har sin oprindelse før mennesket og chimpansen skilte sig ud fra hinanden i deres evolutionære historie.

CRK. Nature Commun. 3, 1179 (2012)

Foto: Colourbox

Også hvad angår sammensætningen af tarmbakterier er chimpansen og mennesket nært beslægtet.

Lægens ultratynde øje

Ved hjælp af "kikkerte", såkaldte endoskoper, kan man i dag foretage en lang række operationer på patienter meget mere skånsomt end i gamle dage. Endoskopet fungerer i praksis som kirurgens forlængede øje, da det bruges til at danne et billede af patientens indre. Selvom der findes flere forskellige typer af endoskoper, må de alle have en måde at oplyse det væv, man er interesseret i, og transmittere et billede ud igen. Derfor består dagens endoskoper af millimeter-tykk bundter af op til 100.000 optiske fibre. Men nu har forskere fra Sydkorea og USA lavet et endoskop bestående af kun en enkelt optisk fiber, 200 mikrometer tyk.

Udfordringen ved at lave et endoskop ud af en enkelt optisk fiber er, at lyset på dets vej gennem fiberen kan spredes af defekter og billedet bliver dermed forvrænget til ukendelighed. Forskernes genembrud er, at de har fundet en måde at karakterisere disse spredningsprocesser, og de har på den baggrund udviklet algoritmer, der kan genskabe billedet.

Vejlen kan dermed være banet for udviklingen af ultratynde endoskoper, der kan bruges når der er tale om meget delikat væv. En ulempe er dog, at det nye endoskop ikke kan bøjes ret meget i forhold til den position, som fiberen kalibreres i. Forskerne undersøger nu forskellige mulige løsninger på dette problem.

CRK. Kilde: Phys. Rev. Lett. 109, 203901 (2012). Physics World

Malariatest på en chip

En enkelt dråbe spyt eller blod kan være nok til at afsløre, om en patient har malaria. En tværfaglig forskergruppe ved Aarhus Universitet under ledelse af lektor Birgitta Knudsen fra Institut for Molekylærbiologi og Genetik og Interdisciplinært Nanoscience Center, har sammen med en række internationale kolleger præsenteret en ny diagnosemetode for malaria i tidsskriftet *ACS nano*. Det særlige ved metoden er, at den, når den er færdigudviklet, ikke vil kræve dyrt udstyr, uddannet personale, rent vand eller elektricitet og derfor vil kunne bruges i afsides beliggende egne i fattige lande.

Metoden udnytter et enzym, der kaldes topoisomerase I, og som er livsnødvendigt for alle malariaparasitter. Forskerne har udviklet en teknologi, der måler på dette enzyms evne til at omdanne et enkeltstrenget DNA-molekyle til en cirkelformet struktur. Disse DNA-cirkler kan mangfoldiggøres via et bakterieenzym, der virker ved temperaturer mellem 20 og 45 grader. Forskerne kan få en reaktion frem, ved at binde molekyler til de mangfoldiggjorte DNA-molekyler, hvilket giver en farve-reaktion eller et selvlysende produkt.

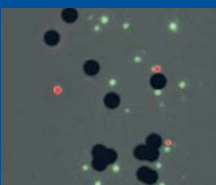
Hele processen foregår på en lille chip, som kun behøver tilførsel af ganske små volumener blod eller spyt for at kunne afsløre parasiternes tilstedeværelse.

Forskerne arbejder nu på at lave udstyr i form af en lille kasse, der blot kan tilføres en dråbe blod eller spyt, hvorefter diagnosen kan stilles kort tid efter. Det er håbet, at teknologien vil være klar til afprøvning i felten i løbet af de næste par år.

CRK. Kilder: Ugebladet *Ingeniøren*. *ACS nano* 10.1021/nn3038594

Foto: Birgitta Knudsen

Eksempel på en positiv malariatest. De røde prikker skyldes malaria-parasitten, mens de grønne prikker er en kontrol for reaktionen.



Damp-generatorer på nanoskala

Nanopartikler af metaller eller kulstof, som absorberer lys over et bredt spektrum, kan bruges som miniature-dampgeneratorer i en væske, viser ny forskning. Forskere ved Rice University i Houston, USA, har brugt linser til at fokusere sollys på nanopartikler af kulstof eller guld-silika nedsænket i vand. Inden for få sekunder blev der dannet damp med en temperatur godt over 100 grader rundt om partiklerne, mens hovedparten af vandvolumet kun gradvist blev opvarmet. En termodynamisk analyse viste, at 80 % af det absorberede sollys blev konverteret til vanddamp, mens kun 20 % blev konverteret til opvarmning af væsken omkring.

Forskerne foreslår, at denne metode til at frembringe damp med høj temperatur fx vil kunne bruges til at sterilisere kirurgiske instrumenter uden at man behøver at koge et større vandvolumen. Den samme effekt kan ifølge forskerne også bruges til at forbedre destillations-processer, idet sollys fokuseret på nanopartikler i en blanding af vand og alkohol producerede dampe, der var rigere på alkohol end konventionel destillation.

CRK. Kilde: *ACS Nano* <http://dx.doi.org/10.1021/nn304948h> (2012)

Rekordvarmt årti i Grønland

Det seneste tiår – dvs. fra år 2000 til nu – har været det varmeste i Grønland i den 130-årige periode, hvor der er foretaget systematiske temperaturmålinger. Det viser et studie for nyligt publiceret i tidsskriftet *Environmental Research Letters* af bl.a. klima- og polarforsker Sebastian H. Mernild fra Los Alamos National Laboratory, USA, og klimatolog John Cappelen fra DMI. Forskernes systematiske analyser af lufttemperaturerne over Grønland viser, at selv i forhold til de varme årtier i 1930'erne og 1940'erne, har middeltemperaturen det seneste årti været 0,7 grader varmere.

Opvarmningen (siden 1991) er generelt mere udtalt i Vestgrønland end på østkysten. Nogle steder på Grønlands vestkyst har således oplevet en stigning på 2-4 grader i sommerperioden og lokalt helt op til 10 grader i vinterperioden.

Konsekvenserne af de stigende temperaturer ses i form af afsmeltning af Indlandsisen og gletschere i Grønland, hvor man i 2010-2011 oplevede rekordafsmeltning, idet Indlandsisen tabte i størrelsesordenen 430 kubikkilometer is.

CRK. Kilde: *Environ. Res. Lett.* 7 (2012)

Foto: Sebastian Mernild

Det seneste årti har været det varmeste i Grønland i al den tid, man har foretaget systematiske temperaturmålinger.



Er den perfekte klon



ren utopi?

Forskning viser, at klonede grise ofte er lige så forskellige som naturligt avlede grise. Det er et problem, hvis man antager, at kloner er ens. Og hvad skyldes de uens kloner?

Klonede dyr anses for at være mere ens end dyr, der er undfanget på naturlig vis, idet de er kopier af hinanden, præcis ligesom enæggede tvillinger. Derfor er ræsonnementet, at når man bruger klonede dyr til dyreforsøg, behøver man færre individer for at opnå pålidelige resultater, fordi variationen mellem dyrene er mindre. Dette er en fordel, især når der er tale om omkostningskrævende dyr som fx svin eller andre større dyr.

Vores forskning på DTU Veterinærinstituttet viser, at grise-kloner ofte er meget forskellige og desuden reagerer anderledes end den gris, de er klonet fra, hvilket går imod teorien. I løbet af de sidste ti år har flere forskergrupper på verdensplan vist samme tendenser; bl.a. at der er lige så stor variation i udtrykket af visse gener og blodmarkører hos klonede grise som hos almindeligt avlede grise. Derudover er det vist, at klonede grise ofte får forhøjet blodtryk og vejtræknings sygdomme, selv om moderdyret ikke har disse sygdomme.

◀ Klonede grise kan være lige så forskellige som almindelige grise-søskende indbyrdes, når det kommer til reaktioner fra immunforsvaret. Endvidere reagerer kloner ofte anderledes end donordyret, og det kan blive et problem for forskningsresultaterne.

Foto: Lars Kruse.

Kloning ændrer grisen

I et studie har vi set på, hvilken indflydelse fedme har på det medfødte immunforsvar, og her var der stor forskel på, hvordan klonerne og ikke-kloner reagerede. Sammenligningen blev gjort på såkaldte akutfaseproteiner i blodet og på geneexpressionen af immunfaktorer i tre slags fedtvæv samt i levervæv. Akutfaseproteiner findes i blodet, og antallet stiger kraftigt under betændelsestilstande. I klonerne var niveauet af nogle af disse markører opreguleret i forhold til niveauerne i den ikke-klonede gruppe, og for nogle markører forholdt det sig omvendt. Disse forsøg viste altså, at klonede grises medfødte immunforsvar er ændret i forhold til ikke-kloners medfødte immunforsvar som reaktion på fedme.

Yderligere viste det sig, at variationen i, hvor meget disse genetiske markører blev udtrykt i vævet, var lige så stor indbyrdes for de klonede grise som hos de almindeligt avlede grise. Det svarer lidt firkantet sagt til, at en gruppe femlinger har lige så forskelligt medfødt immunforsvar indbyrdes som fem søskende, og det strider mod ideen om, at klonede dyr er identiske.

Sammenlagt tyder vores observationer på, at kloning ændrer afkommets medfødte immunforsvar. Derudover har andre forskergrupper observeret, at kloning også kan have effekt på dyrets adfærd

Forfatterne



Peter M. H. Heegaard, professor, Faggruppe for Innat Immunologi
pmhh@vet.dtu.dk



Tina Rødgaard Højboe, ph.d., Faggruppe for Innat Immunologi.
tinarodgaard@hotmail.com

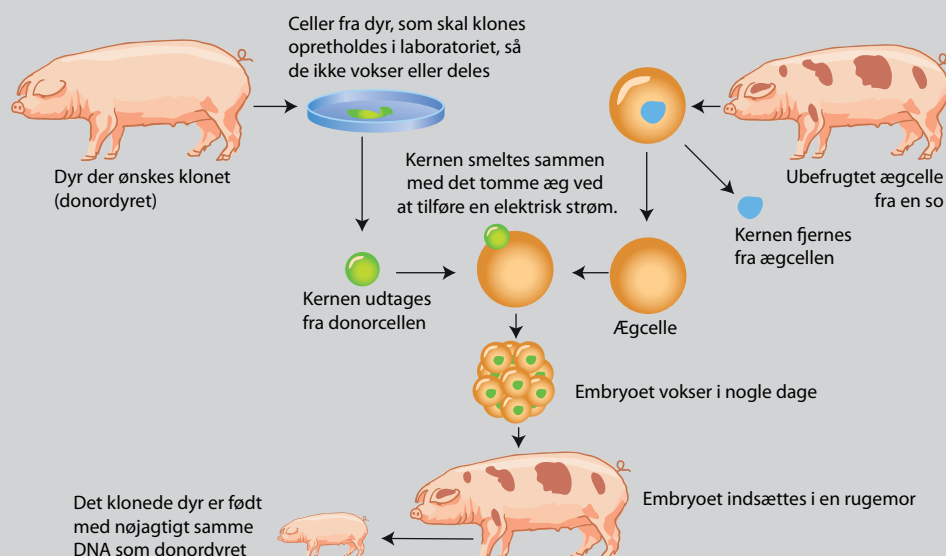


Anne Lykke, kommunikationsmedarbejder.
annly@vet.dtu.dk

Alle ved DTU Veterinærinstituttet.

Kloning

Kloning af grise foregår i dag ved, at man tager cellekernen ud af et æg fra en gris, så man får en tom ægcelle. Dernæst tager man en celle fra det dyr, man ønsker at klonе (donordyret). Dette kan for eksempel være en hudcelle. Fra denne tages kernen ud og sættes ind i den tomme ægcelle. Dette foregår i en petriskål med nogle ret skræppe vækstfaktorer, der omprogrammerer cellen til at blive en stamcelle, der kan dele sig til et foster. Når ægget begynder at dele sig, kan det efter nogle celledelinger sættes op i livmoderen på en surrogat-gris.



– kloner er ofte mere bange og urolige end normalt avlede grise, de vejer mindre og har ofte et højere stofskifte. Klonerne kan også have forskellig hårlængde og forskellige pletter på huden indbyrdes, hvilket igen tyder på, at de ikke har ens genudtryk.

Kloning resulterer således i en helt "ny" type gris, der responderer anderledes både molekylært og adfærdsmæssigt end det oprindelige dyr.

Hvad er årsagen?

Men hvad er årsagen til, at kloner bliver forskellige? En del af forklaringen skal findes i metoden. Kloning er en ret hårdhændet metode, som kan forstyrre de meget følsomme processer, der foregår under fosterudviklingen.

Yderligere spiller såkaldt epigenetik formentlig en ikke ubetydelig rolle i udviklingen af forskellige kloner. Udtrykket epigenetik dækker over alle de processer og faktorer, der er med til at påvirke, hvilke gener der bliver udtrykt, og i hvilken grad de bliver udtrykt. Ved at ændre på epigenetikken kan man for eksempel få to kloner til at udtrykke helt forskellige gener og dermed se helt forskellige ud. Det betyder med andre ord, at det bliver af mindre betydning, om DNA-sekvensen er ens i de to kloner.

Læs videre

Videnskabelig publikation:
Tina Rødgaard, Kerstin Skovgaard, Jan Stagsted, and Peter M. H. Heegaard, Expression of Innate Immune Response Genes in Liver and Three Types of Adipose Tissue in Cloned Pigs, *Cellular Reprogramming*, October 2012, 14(5): 407-417. doi:10.1089/cell.2012.0026.

Efterhånden er det da også ved at være bredt accepteret i videnskabelige kredse, at epigenetikken har en betydelig rolle. For eksempel har nogle forskere vist, at afkom fra mus, der er genetisk manipuleret til at være fede, ikke bliver fede alligevel. Udseendet (fænotypen) af afkommet bliver altså ikke nødvendigvis det samme, selv om donordyret og afkommet har samme DNA (genotype). Det samme problem har vist sig at være gældende i grise; fede transgene grise giver ofte anledning til kloner med en helt normal vægt.

Vi mennesker har altså endnu ikke knækket koden til, hvordan vi styrer prægningen af generne. Derfor kan vi stadig ikke garantere, at arvelige anlæg for en given egenskab udtrykkes i næste generation, på trods af at DNA'et er programmeret til at videreføre den ønskede egenskab. Den perfekte klon er altså stadig udenfor rækkevidde.

En gris er ikke bare en gris

At kloner er forskellige fra deres donor kan blive et problem, hvis man vil sammenligne sine resultater fra klonede dyr med resultater fra ikke-klonede dyr, fordi det svarer til at sammenligne æbler og pærer. Hvis man for eksempel ved fra litteraturstudier, hvordan en gris af en bestemt race responderer på et medikament/stof, kan man ikke altid være sikker på, at dette respons er præcis det samme i en klonet gris af samme race. Det kan derfor være svært at sammenligne forsøg. Men mange er formentlig ikke opmærksomme på denne problematik. Sagens kerne er, at man som forsker skal tænke sig godt om, før man sætter et forsøg op med kloner. De er dyrere at arbejde med, men spørgsmålet er, om resultaterne bliver tilsvarende mere pålidelige.

Kloner er stadig vigtige

Kloning er dog stadig en meget vigtig teknik, idet man i mange forsøg har brug for transgene dyr, dvs. dyr, der har fået genetisk materiale fra en anden art. Men forskningen i kloner og epigenetik viser blot, at man skal være påpasselig med at bruge klonede dyr i sammenligningsstudier i den tro, at de er ens. Der er brug for yderligere studier af forskellen mellem kloner, og hvad denne forskel skyldes. I mellemtiden kan man argumentere for, at det er lige så fornuftigt at bruge ikke-klonede dyr til studier af immunforsvarets reaktion på fedme eller lignende sammenligningsstudier, idet disse dyr er en lige så god model som kloner. ■

Epigenetik: Samme DNA, og stadig så forskellige...

Epigenetik er defineret som ændringer i genekspression, der ikke indebærer en ændring i DNA-sekvens.

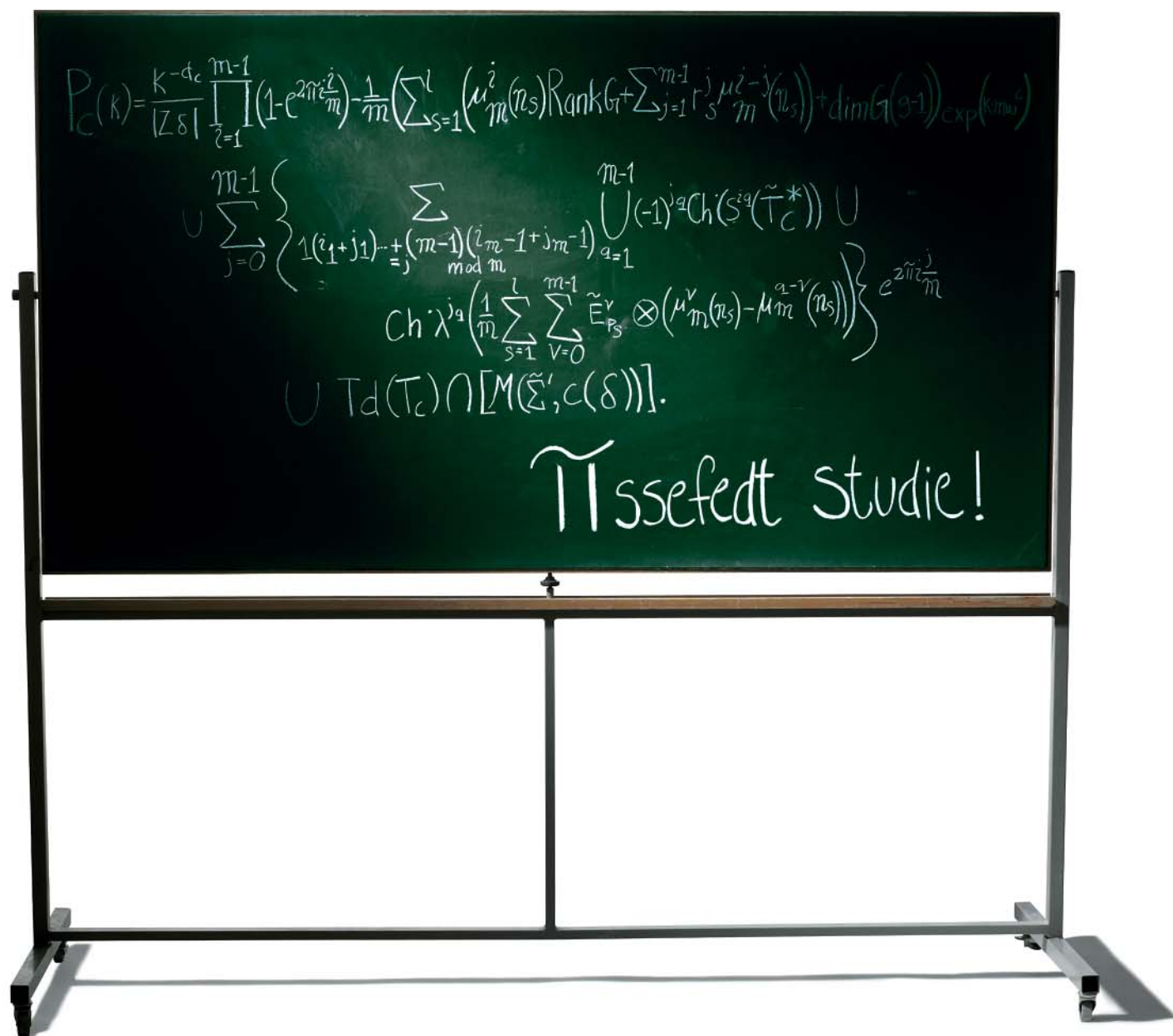
Epigenetik er med til at bestemme, om en given celle bliver til for eksempel en hudcelle eller en levercelle.

DNA-molekylet er pakket ekstremt tæt sammen i strukturer kaldet histoner, og DNA'et skal rulles ud fra histonerne, før det kan aflæses. En masse faktorer er afhængige af denne oprulning, for eksempel transkriptionsfaktorer, messengerRNA og mikroRNA.

På billedet ses to 1-årige, genetisk identiske hunmus, og det fremgår tydeligt, hvor stor en forskel det kan gøre, hvilke gener der udtrykkes fra DNA'et.

Foto: Dana Dolinoy, University of Michigan, Randy Jirtle, Duke University





Gør videnskab til din lidenskab



SYDDANSKUNIVERSITET.DK

www.sdu.dk/matematik



Springhalers overlevelse i sommertørken

Selvom det kan være svært at tro oven på den våde sommer i år, peger klimamodellerne på, at vi i fremtiden vil opleve flere og kraftigere perioder med sommertørke i Danmark. Det kan blandt andet få betydning for artssammensætningen af jordbundsdyr og dermed også for vegetationen.

Forfatter



Katrine Bilberg,
ph.d.,
biolog

Aktuel Naturvidenskab

Forsker



Dorthe Waagner,
post doc.,
Institut

for Bioscience,
Terrestrisk Økologi,
Aarhus Universitet
dowa@dmu.dk

Dorthe Waagner fra Bioscience, Aarhus Universitet, har sammen med sine kollegaer undersøgt, hvilken indflydelse sommertørke har på en af jordbundens uanselige skabninger, nemlig springhalen *Folsomia candida*. Springhaler er et lille jordlevende leddyr, som i lighed med regnorme, medvirker til at nedbryde organisk stof i jorden og dermed frigive næringsstoffer til planter. Hvis nyttedyr som *F. candida* påvirkes negativt af flere tørkeperioder, kan konsekvensen være, at nedbrydningstiden for dødt plantemateriale vil stige og at der frigives færre næringsstoffer til planterne.

Tørkens betydning for springhaler

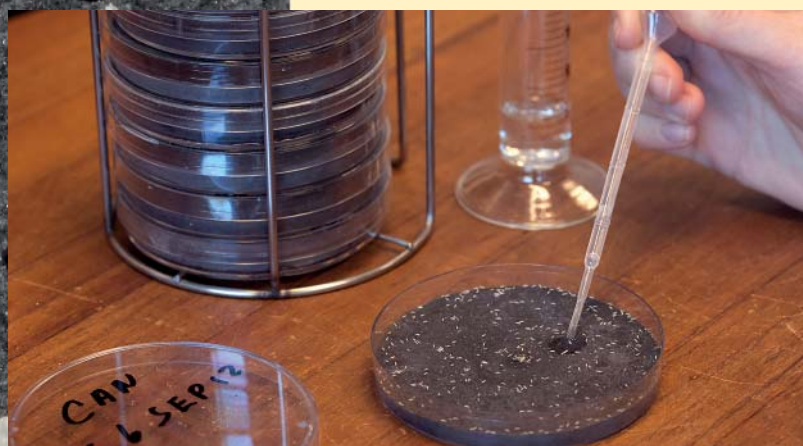
Dorthe Waagners forsøg viser, at jordlevende springhaler kan overleve 20 dages mild tørkestress med relative fugtigheder ned til 98,2 %. Jordlevende springhaler tolererer i princippet slet ikke tørke, fordi de er så "utætte", at de hurtigt vil miste meget vand. Springhaler har dog udviklet en meget effektiv fysiologisk mekanisme, der gør dem i stand til, passivt, at

optage vand over den tynde og gennemtrængelige "hud". Ved hjælp af denne mekanisme kan jordlevende springhaler klare både kortvarig mild og hård tørke med en relativ jordfugtighed ned til 97 %, hvor de har sværere ved at opretholde vandbalancen i kroppen og derfor dør. Et eksempel på de jordlevende springhalers overraskende tørketolerance er set på en dansk hede, hvor springhalerne er observeret aktive efter en seks ugers lang tørkeperiode med relativ fugtighed ned til 97,6 %.

Springhalernes reproduktion

Mens springhalerne altså er gode til at overleve længerevarende, hård tørke, har mild tørke en negativ effekt på deres reproduktion. Springhalernes reproduktion går i stå, når jordens relative fugtighed kommer under 99,4 %.

Når den mættede fugtighed i jorden genetableres, genoprettes springhalernes æglægning, men jo større tørkestress springhalerne er udsat for, desto



Springhaler undersøges i laboratoriet.

LÆS MERE

Waagner D, Bayley M and Holmstrup M. 2011. Recovery of reproduction after drought in the soil living *Folsomia candida* (Collembola). 43:690–692.

www.climaite.dk

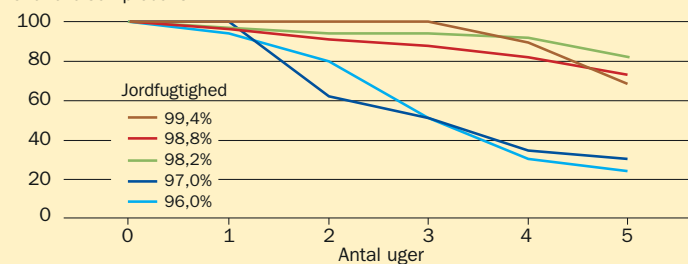
Fotos: Per Henriksen.

længere tid går der, før de igen begynder at lægge æg. Graden af tørke har dog ingen effekt på det gennemsnitlige antal æg en springhale lægger i perioden efter tørke. Sommertørke vil derfor kun betyde en kortvarig nedgang i populationens størrelse, men tørke alene vil næppe udrydde en lokal population af *F. candida*, da den formerer sig året rundt.

Mere kritisk ser det formodentlig ud for andre arter af springhaler, der kun formerer sig om sommeren.

Feltstudier har vist, at sommertørke kan påvirke springhalesamfund ved at ændre artssammensætningen og reducere antallet af arter. Flere og kraftigere perioder med sommertørke vil derfor begunstige jordbundsorganismer, der hurtigt kommer sig efter tørke, og vil således kunne ændre artssammensætningen. Der er dog også andre faktorer, som bl.a. alderen på nedfaldsløv, vegetationen over jorden, temperaturen og forureningen der spiller en rolle for artssammensætningen. ■

Overlevelse i procent

**Jordens fugtighed**

Jordlevende springhaler lever i jordporrer, der er mættet med vanddamp. Jord opfattes ofte som et stabilt system, men de øverste jordlag er faktisk udsat for store variationer i fugtighed. I Danmark er der observeret faldende jordfugtighed fra 99,4 % til 97,6 % relativ fugtighed hen over en sommertørkeperiode. Når den relative jordfugtighed kommer ned under 98,8 % begynder planter at visne. En relativ fugtighed på 98,8 % betyder at 98,8 % af jordporeluften er mættet med vanddamp. For os lyder det umiddelbart ikke særligt tørt, men fordi jordbundsdyr hud er meget gennemtrængelig for vand, tørrer de meget hurtigt ud, hvis vandtilgængeligheden i jorden falder. Jordens vandforhold er således en vigtig parameter for jordbundsdyrs aktivitet og trivsel.

Abelpris til informatikkens
teoretiske stjerne:

Kombinatorik i en klarsynet hjerne



Matematikens “Nobelpris” – Abelprisen – gik i 2012 til den ungarske matematiker Endre Szemerédi. Vagn Lundsgaard Hansen og Poul G. Hjorth kigger her nærmere på prismodtageren og hans arbejde, som er inden for diskret matematik og teoretisk informatik.

Endre Szemerédi modtager Abelprisen af den norske Kong Harald ved ceremonien i Oslo i maj 2012.

Forfattere



Vagn
Lundsgaard
Hansen,
professor.

V.L.Hansen@mat.dtu.dk



Poul G.
Hjorth,
lektor.

p.g.hjorth@mat.dtu.dk

Begge ansat ved
Institut for Matematik
Danmarks Tekniske
Universitet.

Det Kgl. Norske Videnskabernes Selskab udde-
ler hvert år en pris i Nobelprisklassen, som
hædrer en fremtrædende matematiker. Prisen er
opkaldt efter den store norske matematiker Niels
Henrik Abel (1802-1829) og er på 6 millioner nor-
ske kroner. Prismodtageren i 2012 er den ungarske
matematiker Endre Szemerédi.

Det er nok sandt at sige, at selv om Szemerédi er en
forsker i international topklasse inden for området
diskret matematik, så er han ikke en lige så stor ken-
dis i matematikernes verden som de tidligere års
prisivindere. Det kom sikkert bag på mange, herun-
der denne artikels forfattere, at valget faldt på ham,
idet der var andre måske mere oplagte kandidater
inden for området diskret matematik. Imidlertid
blev det klart ved præsentationen af Szemerédís
afgørende bidrag til diskret matematik og teoretisk
informatik under Abel-festlighederne i Oslo i maj

2012, at det atter i år er lykkedes for priskomiteen at
finde en værdig prismodtager af allerhøjeste karat.

Sent i gang

Endre Szemerédi blev født den 21. august 1940
i Budapest i Ungarn. Igennem mange år har han
været fast tilknyttet som forsker ved Alfréd Rényi
Institute of Mathematics under det Ungarske
Videnskabsakademi i Budapest. Siden 1986 har
han også været New Jersey Professor of Computer
Science ved Rutgers University, New Jersey, USA.

Ungarn har en lang tradition for at frembringe
talentfulde matematikere. Ikke mindst inden for
kombinatoriske emner har der været mange enestå-
ende stjerner, som eksempelvis den excentriske Paul
Erdős (1913 - 1996), der har spillet en væsentlig
rolle som mentor for Endre Szemerédi. I modsæt-
ning til de fleste matematikere udsprunget af den

ungarske skole, kom Szemerédi dog sent i gang med matematikken. Når man hører ham selv om tale, hvordan det hele gik til, hører man historien om en meget lille og spinkel dreng, der for at kunne være i fred i underskolen fandt ud af at alliere sig med den stærke fyr i klassen, som havde besvær med matematikken, og som han med lidt snyd kunne hjælpe igennem til eksamen.

Senere hen forstod han også at vælge den rigtige taktik og gribe chancen i andre af livets forhold. Som da han tilfældigt en aften midt i Budapest traf en smuk pige, som utålmodigt ventede på hans gode ven fra gymnasietiden, en høj fyr, der også var dygtig til matematik. Da venen kom et kvarter for sent til det aftalte møde med pigen bad hun Szemerédi forklare venen, at hun var skredet. Hun blev senere hans kone.

Forunderlig forveksling

Selv om Endre Szemerédi var god til matematik arbejdede han i gymnasiet ikke med specielle matematiske problemer, lige som han heller ikke deltog i de mange matematikkonkurrencer, som udgør en vigtig del af den ungarske matematiktradition. Efter gymnasiet begyndte Szemerédi efter sin fars ønske at studere medicin, men efter et halvt år droppede han ud, fordi det ikke var det rigtige studium for ham. Da han var meget i tvivl om, hvad han skulle studere, arbejdede han derfor i næsten to år på en maskinfabrik. Under det ovennævnte tilfældige sammenstød med hans dygtige ven fra gymnasiet anbefalede denne ham at begynde at studere matematik ved Eötvös-universitetet i Budapest. Han fortalte ham samtidig, at deres lærer i gymnasiet var enig i dette. Og så blev det sådan.

Endre Szemerédi fik sin kandidatgrad i 1965. I perioden 1967-1970 var han på studieophold i Rusland og gennemførte en phd-uddannelse ved Moscow State University med den berømte matematiker Israel M. Gelfand, som var ekspert i matematisk analyse, som officiel vejleder. Gelfands interessefelt i matematik lå langt fra Szemerédís interessefelt, og Szemerédi havde egentlig også ønsket at studere ved den berømte talteoretiker Alexander Gelfond. Ved en uheldig skrivefejl var denne imidlertid blevet forvekslet med Gelfand, men ved lidt snedighed fik Szemerédi det alligevel til at fungere.

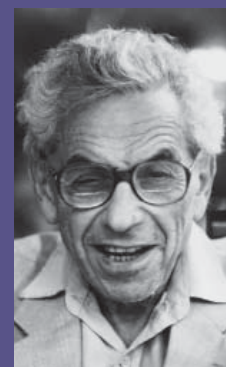
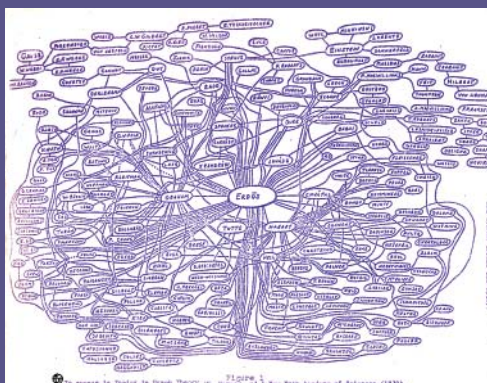
En upraktisk, snedig rad

Szemerédís exceptionelle matematiske talent blev hurtigt opdaget af den berømte Paul Erdős, da Szemerédi som ung student var ved Eötvös universitetet, og Erdős tog ham under sine vinger. Szemerédi levede i høj grad op til sin mentors store forventninger og beviste tidligt adskillige fundamentale sætninger af stor betydning. I begyndelsen næsten udelukkende i et samarbejde med Erdős, som Szemerédi fremhæver som den person, der har haft den helt

Den ungarske forbindelse

Den ungarske matematiker Paul Erdős (1913-1996) var en af det 20. århundredes mest produktive matematikere og en meget excentrisk personlighed. Erdős tilbragte en stor del af sin karriere med at rejse fra universitet til universitet (han var velkommen overalt), nærmest som hjemløs og kun med så få ejendele som kunne være i en lille, slidt kuffert. Han indtog store mængder amfetaminer (som han fik på recept fra en ungarsk læge), skrev artikler, diskuterede, holdt seminarer om matematiske problemer, fra morgen til aften. År ud og år ind. De fleste af sine priser og andre indtægter skænkede han til værdigt trængende.

Erdős globale virke og mange samarbejder, heriblandt med årets abelprisvinder Endre Szemerédi, førte til dannelse af begrebet Erdős-tal: En matematiker har Erdős-tal 0 hvis man er Erdős selv, 1 hvis man har skrevet en artikel sammen med Erdős, 2 hvis man har skrevet en artikel med en, der har Erdős-tal 1, osv. Studiet af det netværk, der herved er dannet, har bl.a. ført til begrebet "Erdős-Grafen". Szemerédi har naturligvis Erdős-tal 1.



Den berømte ungarske matematiker Paul Erdős.

Erdős-grafen viser en del af de samarbejder som Erdős (centrum) har haft med matematikere, og disses indbyrdes samarbejder. Personerne optræder som grafens knuder, og et samarbejde vises som en kant i grafen.

Tegning: Professor Ron Graham, University of California San Diego.

afgørende indflydelse på sin matematiske tænkning og arbejde. Szemerédi er blevet beskrevet som en matematiker med en enestående forskningskraft og mange af hans resultater har præget matematikkens udvikling i nyere tid og har dannet basis for nye retninger i matematikken.

I anledning af Szemerédís 70-års fødselsdag i 2010, arrangerede Alfréd Rényi Institute of Mathematics og János Bolyai Mathematical Society en konference i Budapest for at fejre hans matematiske bedrifter. I bogen *An Irregular Mind*, som blev publiceret forud for konferencen bliver det sagt, at »Szemerédi har et "usædvanligt intellekt" [Irregular Mind]; hans hjerne har andre koblinger end hos de fleste matematikere. Mange af os beundrer hans unikke måde at tænke på, hans usædvanlige klarsyn«. Denne udtalelse blev hyppigt bragt frem under Abel-festlighederne og blev kommenteret livligt med et glimt i øjet af Szemerédi, som ikke helt kunne lide betegnelsen "Irregular Mind". Han omtaler sig selv som helt uegnet

NY VIDEN FRA DTU PÅ DIN IPAD

Det nye nummer af DTU's magasin Dynamo er udkommet, og nu kan du også læse det på din iPad.

Brug Dynamo i din undervisning. I magasinet kan du læse om, hvordan forskningen på DTU bidrager til at løse de udfordringer, verden står overfor inden for f.eks. klimaforandringer, energiforsyning, produktivitet og innovation. Artiklerne er skrevet i et letforståeligt sprog og kan f.eks. bruges som supplerende stof i din undervisning i gymnasiets tekniske og naturvidenskabelige fag.

Dynamos iPad-udgave er en fuld version af det trykte magasin med enkelte tilføjelser i form af flere fotos, levende billeder og andre features.

Dynamo til iPad er gratis ligesom det trykte magasin.

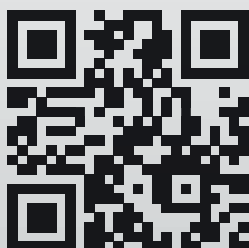


SÅDAN FÅR DU DYNAMO PÅ DIN IPAD

Dynamo fås i App Store.

Du kan vælge at gå ind i App Store med din iPad og søge på DYNAMO.

Eller du kan skanne QR-koden her til venstre og komme direkte til Dynamos iPad-magasin.



Danmarks Tekniske Universitet



til praktiske ting, eksempelvis til praktisk arbejde med computere, men hans foredrag blev leveret med præcision og klarhed, så dem, der overværede det, tror han er en rigtig snedig rad.

Endre Szemerédi's bedrifter

I begrundelsen fra Abel-komiteen hedder det, at Endre Szemerédi modtager Abelprisen i 2012 »for hans fundamentale bidrag til diskret matematik og teoretisk informatik, og som anerkendelse for disse bidrags gennemgribende og varige indflydelse på additiv talteori og ergodeteori«.

Vi skal nu kort beskrive nogle af de emner, der omtales i begrundelsen.

Diskret matematik er studiet af endelige eller tællelige strukturer som grafer, følger, permutationer, talteori og geometriske konfigurationer. Matematikken i sådanne strukturer danner grundlaget for teoretisk informatik og informationsteori. Szemerédi var en af de første, som forstod vigtigheden af teoretisk informatik.

En af de vigtigste af Szemerédi's opdagelser omhandler såkaldte aritmetiske progressioner, dvs. sekvenser af hele positive tal med konstant indbyrdes differens. Eksempelvis er sekvensen 5, 11, 17, 23 en aritmetisk progression af længde 4, med differens 6 og starttal 5. Den hollandske matematiker Pierre J. H. Baudet formulerede i 1921 den formodning, at hvis man inddeler samlingen af alle positive hele tal i et vilkårligt antal bokse, så vil mindst en af disse bokse A indeholde en aritmetisk progression af vilkårlig foreskrevet længde. I 1936 satte Erdős i samarbejde med den ungarske matematiker Turán spørgsmålet om eksistens af sådanne aritmetiske progressioner i forbindelse med spørgsmålet om, at mindst en af Baudets bokse A har *positiv tæthed*. Det betyder, at brøken med antallet af tal i A , som ligger i talmængden $\{1, 2, \dots, N\}$ som tæller og tallet N som nævner har en positiv mindste øvre grænse, når N vokser ud over alle grænser. I 1975 viste Endre Szemerédi den sætning, som nu kendes under navnet *Szemerédi's sætning*: Enhver mængde af hele positive tal med positiv tæthed indeholder aritmetiske progressioner af vilkårlig længde. Szemerédi's bevis var et mesterstykke i kombinatorisk tænkning, og blev straks anerkendt som usædvanlig dybtgående og betydningsfuldt. Et centralt skridt i beviset, som har fået navnet *Szemerédi's regularitetslemma*, er en strukturel klassificering af store grafer.

Szemerédi har også ydet vigtige og betydningsfulde bidrag til mange andre grene af matematikken, og han er forfatter til mere end 200 videnskabelige artikler.

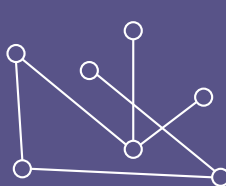
En værdig Abelpris-modtager

Endre Szemerédi har modtaget en række priser og udmærkelser for sine bidrag til matematik og infor-

Grafteori

Den matematiske disciplin *grafteori* omhandler studier af samlinger af punkter ("knuder") med indbyrdes forbindelser ("kanter"). En graf kan være en repræsentation af et elektrisk kredsløb, en organisatorisk struktur, en database, eller endnu mere abstrakte sammenhænge. Punkterne kan have forskellige vægte. Kanterne kan have forskellige vægte, og være orienterede. Forbavsende mange matematiske problemer kan repræsenteres som et grafteoretisk problem, og området er rigt på komplekse problemstillinger med simple løsninger, og simple formodninger hvis afgørelse endnu er uafklaret. En berømt formodning, hvis sandhed var formodet (siden 1852) men ubevist indtil for nylig, er firfarve-sætningen: Hvis man skal farvelægge et landkort således, at hvert land har en bestemt farve, men lande, der grænser op til hinanden, altid har forskellige farver, kan man nøjes med kun 4 farver, uanset landenes form. Beviset, som benytter grafteoretiske begreber, tog over 100 år at konstruere.

Et af Endre Szemerédi's meget berømte resultater (Regularitets-lemmaet), som Abelprisen blev givet for, handler om egenskaber ved grafer, mere præcist om, hvorledes man kan opdele (partitionere) grafens knuder i samlinger med bestemte egenskaber.



En graf.



En berømt graf, "Pedersen Grafen" efter Julius Pedersen.

matik. I 2008 blev han således tildelt den prestigefyldte Leroy P. Steele Prize for "Seminal Contribution to Research" af American Mathematical Society. Samme år modtog han Rolf Schock Prize in Mathematics fra det kongelige svenske videnskabsakademi. Derudover har han modtaget mange andre priser. Han er medlem af det ungarske videnskabsakademi og af US National Academy of Sciences.

Forfatterne til denne artikel kan helt tilslutte sig Abel-komiteens udtalelse: »Szemerédi's tilgang til matematikken er et eksempel på den stærke problemløsningstradition i Ungarn. Alligevel har den teoretiske betydning af hans arbejder været revolutionerende.«

Ved Abel-festlighederne i Oslo i maj 2012 var der stor jubel blandt de mange eminente ungarske matematikere, der deltog i begivenhederne. Også fra helt store kanoner som László Lovász og Bela Bollobas, der selv kunne have fortjent prisen. Der er således ingen tvivl om, at Endre Szemerédi nyder den allerstørste respekt, og at han er en yderst værdig modtager af Abelprisen.

Læs mere

www.abelprisen.no/en/prisvinnere/2012/

http://en.wikipedia.org/wiki/Four_color_theorem/

www.oakland.edu/enp/

10 milliarder planeter som Jorden

Forfatter



Uffe Gråe
Jørgensen,
lektor, Niels
Bohr Institutet
og Center for Stjerne- og
Planetdannelse, Køben-
havns Universitet
uffegj@nbi.dk

En kunstners indtryk af en jordlignende exoplanet, der kredser om stjernen HD 85512. Planeten er observeret med 3,6-meter teleskopet ved ESO's La Silla Observatorium. Planeten er ca. 3,6 gange så stor som Jorden, og den befinder sig i en afstand af stjernen, hvor flydende vand i princippet kan eksistere..

Illustration: ESO/M. Kornmesser

Vi ved i dag, at Universet vrimler med planeter. Og vi ved, at mange af disse planeter findes i afstande fra deres moderstjerner, der i princippet kan gøre dem beboelige. I denne temaaftale fortæller Uffe Gråe Jørgensen om, hvordan man opdager exoplaneterne.

– hvor er beboerne?

For godt 400 år siden blev den italienske munk Giordano Bruno blev frygtelig upopulær ved at skrive at »... de utallige verdener i universet ikke er mindre beboede end vores egen Jord«. Omtrent 2000 år tidligere havde Democritus tænkt næsten det samme ved at påstule at »...der er uendeligt mange verdener, nogle med sole og måner og andre uden«. Andre, som fx Platon, holdt på, at Jorden var unik. For både Democritus, Platon og Bruno var det ren spekulation, men i dag kender vi svaret. Alene i vores galakse, Mælkevejen, er der 10 milliarder planeter, der har nogenlunde samme størrelse som vores egen Jord, og kredser i en bane omkring deres stjerner, der giver dem nogenlunde samme temperatur som Jorden. Og så er der mere end 100 milliarder andre galakser i bare den synlige del af universet.

Om kun få år vil vi være i stand til at måle, om der er liv på de nærmeste af de mange planeter. Hvis livets opståen er en almindelighed hver gang vi har en planet som Jorden, og hvis det bare i en "uendelig lille" brøkdel af gangene udvikler sig til mere avancerede former, så må Mælkevejen være et kriblende og krablende virvar.

Fermi-paradokset

I 1950 forudsagde den italiensk-amerikanske atomfysiker Enrico Fermi, at menneskeheden ville brede sig over hele Mælkevejen i løbet af kun 5 millioner år, hvis vi fortsatte med den ekspansionstrang og nysgerrighed, der havde bragt os ud af Afrika, rundt om hele kloden, og videre til Månen og snart Mars i løbet af mindre end 200.000 år.

De fleste af de 10 milliarder stjerner i Mælkevejen, der omkredses af en jordlignende planet, er mere end en milliard år ældre end Jorden. Så hvis bare én eneste af de potentielt mange livsformer – bare en – havde udviklet sig til en art som vores egen med en tilsvarende teknologisk formåen og ekspansionstrang, så burde det med Fermis forudsigelse in mente have været rumvæsner, der koloniserede Jordens kontinenter. Men det var det ikke. Det var mennesker, opstået og udviklet på Jorden, der bredte sig over kloden – hvorfor?

Det spørgsmål har vi siden Fermis tid kaldt Fermi-paradokset. I dag ved vi, at der er kolossalt mange jordlignende planeter i Mælkevejen. Så det gør spørgsmålet endnu mere paradoksalt end Fermi formentlig nogen sinde var klar over. Hvorfor vrimler det ikke med rumvæsner her på Jorden? Hvor bliver de af?

På sporet af exoplaneter

Det er mindre end to årtier siden, at forskere for første gang kunne påvise en planet kredsende omkring en anden stjerne – en exoplanet. De første mange exoplaneter afslørede sig selv ved deres træk i den stjerne, de kredser om. I dag kan man ved hjælp af meget nøjagtige spektrografer måle, om en stjernes trækkes periodisk frem og tilbage med en hastighed så lille som en skildpaddes gang (dvs. ca. 1 km/t). Men det er kun lige akkurat nok til at påvise store planeter som Neptun og Jupiter. Effekten af vores egen Jord ville forsvinde på støjniveau, og måske endda drukne i signalet fra stjerneatmosfærens egne konvektionsbevægelser. Kun i ultrasmå baner kan metoden afsløre planeter af Jordstørrelse, som fx den, man lige har fundet kredsende om vores nærmeste nabostjerne, Alfa Centauri, kun 4 lysår herfra.

I de første år var det denne radialhastigheds- eller Dopplertechnik, der afslørede næsten alle de planeter, man fandt, og dem, man fandt, var meget ulig planeterne i vores eget solsystem. En af de mest overraskende konklusioner fra radialhastighedsmålingerne er, at mindre end 10 % af de stjerner, man har studeret, har en stor gasplanet som Jupiter eller Saturn. Og man finder den næsten aldrig derude, hvor Jupiter og Saturn kredser i vores eget solsystem, men i stedet i en bane, der minder mere om Jordens.

I vores eget solsystem er de Jordlignende planeter (Merkur, Venus, Jorden og Mars) relativt små, fordi temperaturen i de områder, hvor de blev dannet, var så høj, at kun "minerale" og metaller (der er sjældne i Universet) kunne samle sig til faste stoffer. Kun ved Jupiters bane og endnu længere ude var forholdene sådan, at store gasplaneter kunne dannes. Det er almindelig accepteret, at de store exoplaneter som radialhastighedsmålingerne afslører, må være dannet

i store baner ligesom Jupiter og Saturn, men dernæst er drevet indad i systemet. Det er ikke i detaljer forstået, hvorfor de er drevet indad, og hvorfor det ikke skete i vores eget solsystem. Men det må have noget at gøre med vekselvirkningen mellem de nydannede planeter og den skive af støv og gas, de dannedes i.

Et mylder af planeter

I dag opdages de fleste nye exoplaneter ikke længere fra radialhastighedsmålinger, men fra Kepler-satellitens transitmålinger. Her afsløres exoplaneterne, når de bevæger sig ind foran den stjerne, de kredser om, og derved periodisk formørker lyset fra stjernen. Allerede i det første års målinger har Kepler-data afsløret flere nye planeter end alle andre metoder og instrumenter tilsammen de sidste snart 20 år. De nuværende data viser primært planeter fra noget større end Jorden og op til Jupiter-størrelse, i baner så små som Merkurs eller mindre; altså en type planeter, vi slet ikke kender fra vores eget solsystem.

Der er mange flere middelstore planeter end rigtig store i Keplers data. Og når man tager højde for den bedre følsomhed for store planeter end små, peger de statistiske analyser på, at der må være ca. 50 gange så mange Jord-størrelse planeter som der

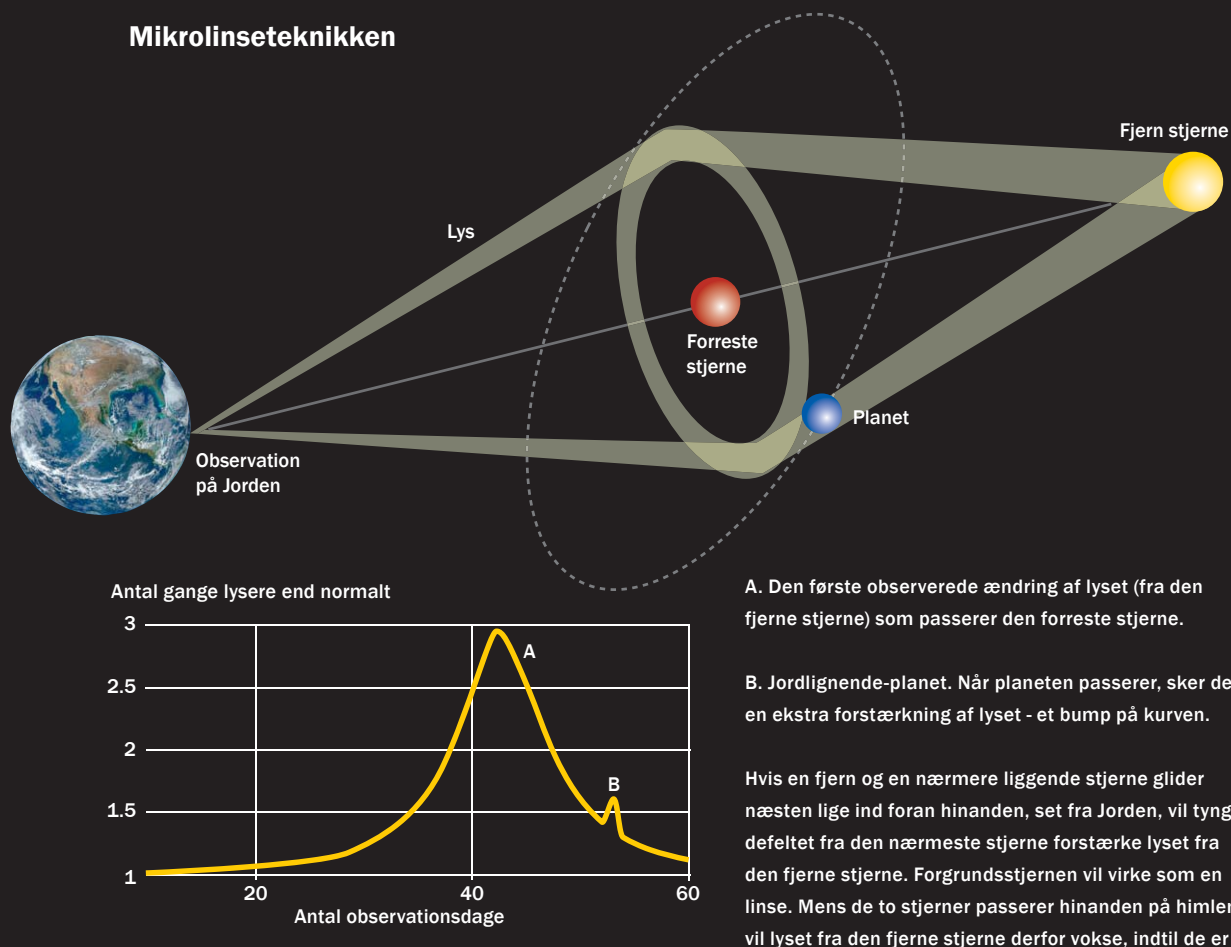
er Jupiter-størrelse planeter i kredsløb om Kepler-stjernerne. En meget vigtig, måske den allervigtigste, konklusion fra Kepler indtil nu, er, at den store overvægt af små planeter er uafhængig af hvilket baneinterval, man analyserer (inden for de baner, man har kunnet analysere hidtil naturligvis). Det er vigtigt, fordi det giver os et fingerpeg om, hvor mange Jord-størrelse planeter, vi skal forvente i rigtige jordlignende baner. Altså der, hvor vi tror "de andre" må bo eller vi selv kunne flytte ud.

Mikrolinse-teknikken

En tredje hovedmetode, der i de seneste år har givet vigtige statistiske resultater, er den såkaldte *mikrolinseteknik*. Her analyserer man, hvordan lyset fra fjerntliggende stjerner ændrer sig, hvis en nærmere liggende stjerne glider ind mellem os og baggrundsstjernen. Umiddelbart kunne man fristes til at tro, at de to stjerner ville formørke hinanden. Men som så meget andet, der har med relativitetsteorien at gøre, sker der det omvendte. Jo tættere de to stjerner kommer hinanden på himlen, jo mere forstærker forgrundsstjernen lyset fra baggrundsstjernen.

For at finde planeter med mikrolinsemetoden er det nødvendigt at have et passende teleskop til rådighed over lange perioder. I 2003 bevilgede det danske

Mikrolinseteknikken



forskningsråd os penge til at bruge de sidste tre år af det nedlægningsberammede danske halvanden meter teleskop i Chile til at søge efter mikrolinseplaneter – selvom Einstein havde forestillet sig, at det ikke kunne lade sig gøre. Og i 2006 kunne vi annoncere opdagelsen af den suverænt mest jordlignende exoplanet, man nogen sinde havde set. Det er en planet på ca. fem gange Jordens masse i en bane svarende til asteroiderne i vores eget solsystem. I dag er kikkerten blevet gennemmoderniseret, og kikkerten deltager som en del af et større internationalt samarbejde i eftersøgningen af mikrolinseplaneter fem måneder om året. I samarbejde med astronomer i Aarhus, der søger forståelse af stjernernes svingninger, er vi nu i gang med opbygningen af et globalt netværk af hypermoderne små teleskoper (SONG), der ved hjælp af mikrolinse-metoden på meget effektiv vis vil kunne afsløre effekten af exoplaneter så små som Mars og måske endda endnu mindre.

Hvordan ser et typisk planetsystem ud?

Tilsammen kan de tre metoder fortælle os både, hvor mange store og hvor mange små planeter, der er som funktion af baneradius. Det gør det muligt at drage mindst fire meget vigtige konklusioner, som man for bare et år siden stadig kun kunne gisne om:

- 1 Kun få stjerner har kæmpeplaneter som Jupiter og Saturn, og når de er der, er de næsten altid i meget mindre baner,
- 2 på alle baneafstande ud til Jupiter-lignende baner er der mange flere små planeter end store,
- 3 tilsammen er der flere exoplaneter end der er stjerner på himlen, og
- 4 ca. hver tiende stjerne på himlen har en planet af størrelse og temperatur nogenlunde som Jorden.

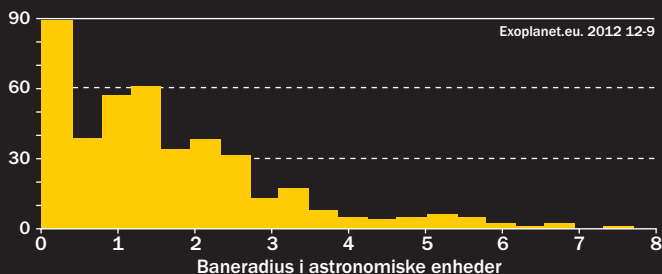
Samlet viser metoderne, at et "standard-planetsystem" i Mælkevejen i gennemsnit har en til to planeter i jord-størrelse i en bane væsentligt mindre end Merkurs, yderligere en eller to i det terrestriske område, og nogle gange en i en lidt større bane. Statistikken over jord-størrelse-planeterne er egentlig kun holdbar ned til omkring fem gange jordens masse. Om vores egne terrestriske planeter er atypisk små er derfor endnu uvidst, ligesom det også kan diskuteres, om der typisk er 3, 4 eller 5 jord-størrelse-planeter i et standard solsystem. Men hovedkonklusionen er alligevel klar: Et standard planetsystem består af få planeter ca. som Jordens størrelse, halvdelen er i ultra-små baner, og systemet har ingen gasplaneter.

En ring af teleskoper ved ESOs La Silla observatorium i Chile. Den danske halanden meter kikkert blev åbnet i 1979. Herfra leder vi efter mikrolinseplaneter i den halvdelen af året hvor Mælkevejen er synlig. I den anden halvdel af året bruges teleskopet nu af Tjekiske astronomer.

Foto: ESO



Antal exoplaneter større end Neptun

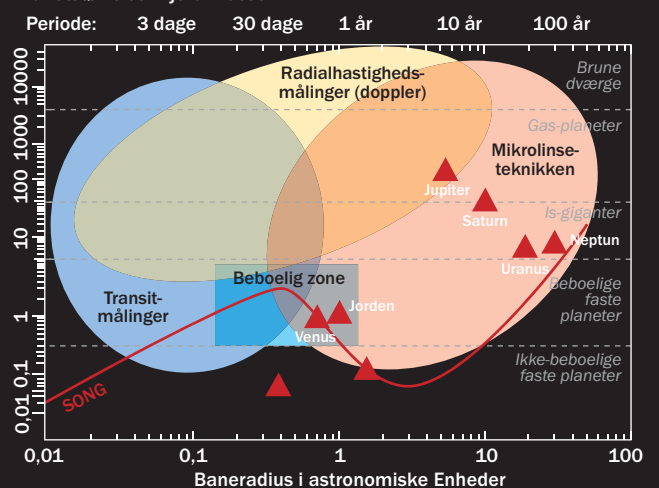


Antallet af exoplaneter som funktion af baneradius, opdaget med radialhastigheds-teknikken. Næsten alle planeterne ligger i baner som de jordlignende planeter i vores eget solsystem (eller mindre). Kun planeter større end Neptun er medtaget i diagrammet. Hvis også de små exoplaneter var med ville fordelingen være endnu mere ekstrem.

tættest på hinanden, for derefter at aftage igen. Hvis der kredser en planet om forgrundsstjernen kan den give en ekstra forstærkelse af lyset, som afslører planetens masse og baneafstand fra stjernen. I 2005 opdagede vi et lille bump, der viste sig at være fra den mest jordlignende exoplanet man på det tidspunkt havde set.

Det var Albert Einstein, der oprindeligt beskrev fænomenet gravitationel mikrolinsing i en artikel i Science i 1936. Da de to stjerner skal ekstremt tæt på hinanden for at virke som et linsesystem, mente Einstein, at man næppe nogensinde i praksis ville komme til at observere fænomenet. Men der tog han heldigvis fejl.

Planetstørrelse i "jord-masser"



Figuren illustrerer, at de tre metoder til at finde exoplaneter med, som omtales i artiklen (radialhastigheds-, transit- og mikrolinseteknikkerne), er følsomme for exoplaneter med forskellig masse og i forskellig baneradius.

Metoderne komplementerer derfor hinanden godt. Tilsammen giver de os et overblik over, hvor mange exoplaneter, der findes af forskellige typer. Med de kommende SONG-teleskoper vil vi kunne nå analoger til alle planeterne i vores eget solsystem (undtagen Merkuri).

Solsystemet er specielt

Det er tankevækkende, at vores eget solsystem altså på ingen måde er specielt ved netop Jordens eksistens. Men derimod dels ved at mangle planeter af jordstørrelse i ekstremt små baner (hvor årets længde er bare fx 5 døgn), og dels ved, at have hele fire kæmpeplaneter ude i det område, hvor de faktisk forventes at være dannet.

Kan forklaringen på Fermi-paradokset være, at livets udvikling kræver ikke bare en Jord som vores, men hele den specielle konfiguration af planeter som vores solsystem har? Er det derfor, vi bor netop her, og ikke i et tilfældigt andet exoplanetsystem?

Jeg skal undlade at gætte på, hvordan solsystemets planetdemografi kan have haft indflydelse på vores eksistens. Men nogle teorier forudsiger, at kun med en meget heldig timing af det gaskollaps, der førte til dannelsen af Jupiter og Saturn, vil vi have haft vand på Jorden. Måske er det et af mange heldige sammentræf, som skal spille sammen for at livet kan opstå og gennem tilpas stabile forhold over geologiske tidskalaer udvikles til en teknologisk civilisation med nysgerrighed overfor naturens fysiske sammensætning og virke. Kan det være muligt, at menneskeheden, med alle de mangler, vi nok synes den har, virkelig udgør Mælkevejens supercivilisation? Og er det virkelig vores skæbne at kolonisere

10 milliarder bebolige exoplaneter i Mælkevejen over de næste 5 millioner år? Eller er der en snubletråd i argumentationen?

Er der liv derude?

14 Europæiske lande har over de seneste år været igennem planlægningsfasen af det der forhåbentligt omkring 2023 skal ende med at blive verdens største kikkert; European Extremely Large Telescope, E-ELT med sit næsten 40 meter store spejl. Et af de videnskabelige hovedmål for designet har været at teleskopet skal kunne afgøre, om der er liv på jordlignende exoplaneter omkring de nærmeste stjerner, altså besvare spørgsmålet "har vi levende naboer?" Hvis vi om få år finder exoplaneter, der bærer spor af biologi, vil vi med kendt teknologi kunne sende et hørbart radiosignal derop. Hvis planetens organismer har teknologisk interesse og har bygget radiomodtagere af en kvalitet mindst som vores, vil vi få år senere kunne modtage et svar – eller have dem på besøg.

Inden vi eventuelt sender den første hilsen skal vi som menneskehed have besluttet, om vi hellere skal lade som om, vi ikke er her. Det kan blive den mest skæbnesvangre beslutning for vores fremtidige eksistens, som mennesket nogen sinde har taget, og måske endda en forhindring for vores første spæde skridt til koloniseringen af Mælkevejen. ■

Læs mere

Kennet B. W. Harpsøe, Jagten på Jordlignende planeter med gravitationel mikrolinsning, Kvant 23. årgang nr 2, side 22-25, 2012.

www.mindstep-science.org – her kan man læse mere om vores gruppe og de metoder vi bruger til at lede efter exoplaneter, og man kan gennem sæsonen følge vores observationer online

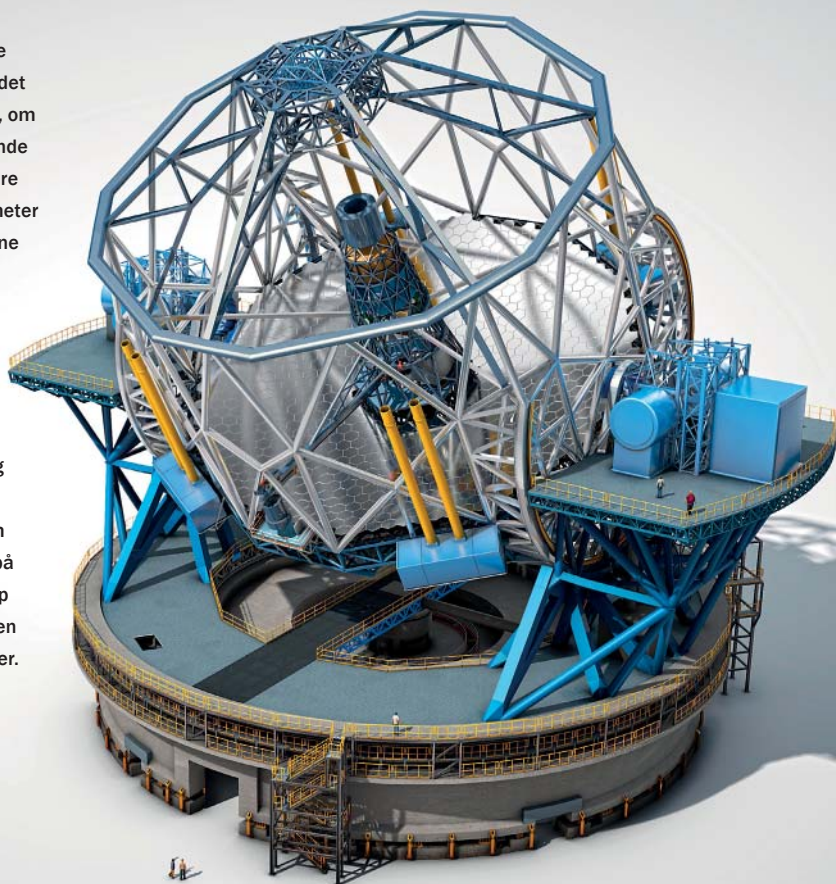
<http://song.phys.au.dk/> – mere information om SONG teleskoperne og -netværket.

www.nbi.ku.dk/scienceexplorer/foredrag/uffe_graa_joergensen/video/ – foredrag om hvorfor astronomer mener vandet på Jorden kan være noget ganske unikt

ELT-teleskopet

Det fælleseuropæiske ELT-teleskop vil blive det første, som kan måle, om der er liv på jordlignende planeter omkring andre stjerner. Med sit 40 meter store spejl vil det kunne optage et spektrum, der vil kunne vise om en exoplanets atmosfære er i kemisk ligevægt (som vores livløse naboplaneter Mars og Venus) eller er ude af kemisk ligevægt (som Jordens atmosfære) på grund af stadigt udslip af metan og ilt til luften fra levende organismer.

Illustration: ESO





U-DAYS

ÅBENT HUS FOR ALLE VIDEREGÅENDE UDDANNELSER I AARHUS

Torsdag 28. februar til lørdag 2. marts 2013
åbner Aarhus Universitet dørene og inviterer
kommende studerende til u-days.

u-days for science- og ingeniøruddannelser finder
sted i Ny Munkegade, på Dalgas Avenue og
Katrinebjerg, hvor du som kommende studerende
har mulighed for at suge indtryk til dig, der gerne
skal gøre dig klogere på dit uddannelsesvalg.
Der starter nye aktiviteter og faglige oplæg hver
time fra kl. 10-15 alle tre dage. Her vil du som
gæst opleve forelæsninger, få udvidet din viden
om emner, som forskerne beskæftiger sig med
til dagligt og snakke med studievejledere og
studerende.

LÆS MERE

om arrangementet på udays.dk



AARHUS
UNIVERSITET

Er der liv derude?

Antallet af kendte planeter i fremmede stjernesystemer stiger drastisk i disse år. Udfordringen for forskerne er nu at afgøre, om forudsætningerne for liv er til stede på nogle af disse exoplaneter, og ultimativt at afgøre, om der faktisk er liv.

Forfatterne



Kai W. Finster,
ph.d., lektor
kai.finster@
biology.au.dk



Tina Santl Temkiv,
postdoc.
temkiv@phys.
au.dk

Begge er tilknyttet Stellar Astrophysics Centre samt Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.



Hans Kjeldsen,
lektor,
Stellar Astrophysics Centre,
Institut for Fysik og Astro-
nomi, Aarhus Universitet.
hans@phys.au.dk

Bundfoto: ESO/ Mario Nonino, Piero Rosati and the ESO GOODS Team

Den 8. november i år kunne man på forsiden af SpaceRef Daily Newsletter læse følgende overskrift: »New Super-Earth in six-planet system may be just right to Life«. Overskriften refererer til, at et internationalt team af astronomer under ledelse af Mikko Tumoi fra Hertforshires universitet (England) og Guillem Anglada-Escude fra Göttingens universitet (Tyskland) har opdaget en "super-jord" kredsende om en stjerne med det lidt kedelige navn HD 40307. Planeten har måske et jordlignende klima, og opfylder i princippet kravene for at kunne understøtte liv som vi kender det fra Jorden.

Forskerne har opdaget planeten ved at genanalysere gamle data ved hjælp af en ny teknik, som kunne fjerne støjen fra dens "moderstjerne". Den nye planet befinder sig i den bebolige zone, dvs. i en afstand fra stjernen hvor vand kan være flydende, i modsætning til tre andre planeter, man allerede forinden havde observeret omkring den samme stjerne. Grunden til, at forskerne kalder planeten en "super-jord" er, at den har ca. 7 gange Jordens masse. Planetens afstand fra stjernen svarer til Jordens afstand fra solen og planeten modtager omtrent den samme lysmængde som Jorden modtager fra solen. Derudover mener forskerne, at planeten har en stabil atmosfære, og at der er basis flydende vand.

Vand er forudsætning nummer 1

Selvom afstanden til den nyopdagede planet "kun" er 42 lysår, udelukker det selvfølgelig enhver tale om at tage derud og undersøge, om der er liv på planeten. Så hvis vi vil have dette opklaret, må vi bruge andre metoder.

Når astronomer annoncerer opdagelsen af en ny planet, er et af de første spørgsmål: Kan der være flydende vand på dens overflade? I vores søgen efter liv i universet er vand blevet synonymt med "beboeligt" eller potentielt livbærende. Derfor kaldes den zone, hvor vand kan være flydende, også den "bebolige zone" eller "Guldlok-zonen", efter den lille pige, som spiser grød hos de tre bjørne og finder skålen med grød, som har lige præcis den rigtige temperatur.

I denne definition ligger den grundlæggende antagelse, at flydende vand er en nødvendig forudsætning for, at levende organismer har kunnet opstå, udvikle sig gennem tiden og stadigvæk kan være til stede på den pågældende planet. Når muligheden for flydende vand er blevet bekræftet, rykker planeten op i ligaen af kandidatplaneter med mulighed for liv.

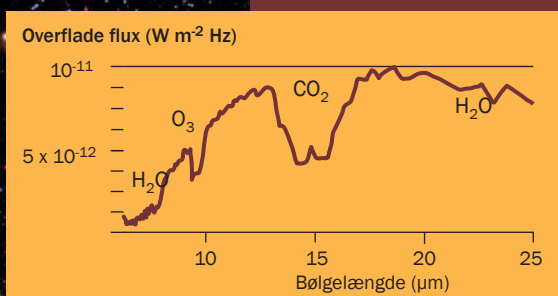
Spektralanalyse

Spektralanalyse - eller spektroskopi - er en metode, som astronomerne bruger til at bestemme, hvilke stoffer en stjerne, planet eller gastaqe består af. Spektralanalysen bygger på det faktum, at elektromagnetisk stråling (lys) indeholder stråling med forskellige energier og disse forskel-

lige energier kan adskilles ved fx at sende lys gennem et prisme eller gennem en spalte. Synligt lys vil så spredes i alle regnbuens farver, hvor det blå lys har mest energi og det røde lys mindst energi. Det er ikke kun synligt lys, der opfø-

rer sig sådan, så astronomerne kan fx også adskille det infrarøde lys i forskellige energier - som et spektrum - ved brug af de spektrografer, som findes monteret på de forskellige astronomiske teleskoper. Det spændende ved denne type analyse er, at lys med forskellige energier optages og udsendes forskelligt, afhængig af hvilke atomer og molekyler, der findes i det objekt, som observeres. Vil vi fx undersøge, om der findes oxygenmolekyler i en planets atmosfære, skal vi undersøge det infrarøde lys ved de energier som oxygenmolekyler optager. Hvis vi fx ser, at der mangler lys netop ved de energier, hvor oxygen absorberer lyset, er det et tegn på tilstedeværelsen af oxygen.

Figuren viser, hvordan Jordens infrarøde spektrum ser ud. Der er tydelige tegn på eksistensen af vand, ozon og kuldioxid i Jordens atmosfære. Tilsvarende undersøgelser kan vi i fremtiden lave på de exoplaneter, vi finder, og derved



Liv ændrer planeter

For at afgøre, om der faktisk er liv på planeten må man igen benytte sig af den viden, man har om vekselvirkningen mellem levende organismer og deres ikke-biologiske omgivelser fra Jorden. Forskerne er over en kam enige om, at Jorden ville se helt anderledes ud, hvis den ikke havde været beboet af et utal af levende organismer igennem det meste af dens 4,6 milliarder-årige historie. Nogle forsker går så langt som til at argumentere for, at selve kontinenterne, som for det meste består af granit, skyldes levende organismers stofskifte. Følger man denne argumentation vil fundet af granit på planeter i andre solsystemer, og for den sags skyld i vores eget solsystem, være en stærk indikator for liv som vi kender det fra Jorden.

Der er dog andre spor, som levende organismer sætter i deres omgivelser, som umiddelbart er mere oplagte, og derudover er nemmere at observere på lang afstand.

Biosignaturer

Som de første mennesker har efterladt sig fodspor i askeaflejringer i Kenya, og en uerfaren indbrudstyv afsætter fingeraftryk, efterlader levende organismer aftryk på Jordens overflade og i atmosfæren, som er af globale dimensioner. Disse aftryk kalder man "biosignaturer", og disse biosignaturer kan blive nøglen til at bekræfte tilstedeværelsen af levende organismer på en fjern planet. Biosignaturer skal være af en sådan karakter, at de entydigt kan tilskrives levende organismer – dvs. deres tilstedeværelse må ikke kunne forklares på ikke-biologisk vis.

De mest oplagte biosignaturer er gasarter, som kan tilskrives organismernes stofskifte. Følgende gasarter har været foreslået: ilt, ozon, lattergas, metan samt forskellige flygtige organiske svovlforbindelser. Ilt er den foretrukne kandidat blandt de forskere,

som udvikler metoder til at kunne detektere og kvantificere forskellige gasarter i fjerne planeters atmosfære. Hvis vi igen ser på Jorden som vores modelplanet, kan vi konkludere, at langt størsteparten af atmosfærens ilt stammer fra planternes og algerne fotosyntese. Før planter og alger begyndte at dominere iltproduktionen, var det cyanobakterierne eller blågrønne alger, der frisatte store mængder ilt og grundlæggende ændrede forholdene på jordens overflade og i atmosfæren. Geologiske undersøgelser af gamle bjergarter har vist, at iltkoncentrationen i atmosfæren var meget lav indtil for ca. 2,5 milliarder

Teknikker til at måle biosignaturer

Astronomiske observationer af biosignaturer på fjerne exoplaneters overflader kan deles i følgende mulige teknikker:

1. Måling af exoplanetens tilbagekastede lys fra skyer og fra overfladen med henblik på at måle dels mængden af lys, som kastes tilbage (den såkaldte albedo), og dels måling af lysets farvespektrum
2. Måling af den infrarøde stråling, som kommer fra overfladen. Det kan ikke blot give oplysninger om exoplanetens overfladetemperatur, men også om, hvilke gasser som befinder sig i atmosfæren på exoplaneten.
3. Måling af exoplanetens atmosfære ved at se på mængden af det stjernelys, som absorberes i atmosfæren i forbindelse med, at planeten står foran den stjerne, den kredser om.
4. Måling af signaler fra exoplaneten, som ikke kan stamme fra naturlige kemiske og fysiske processer, fx signaler fra en intelligent civilisation.

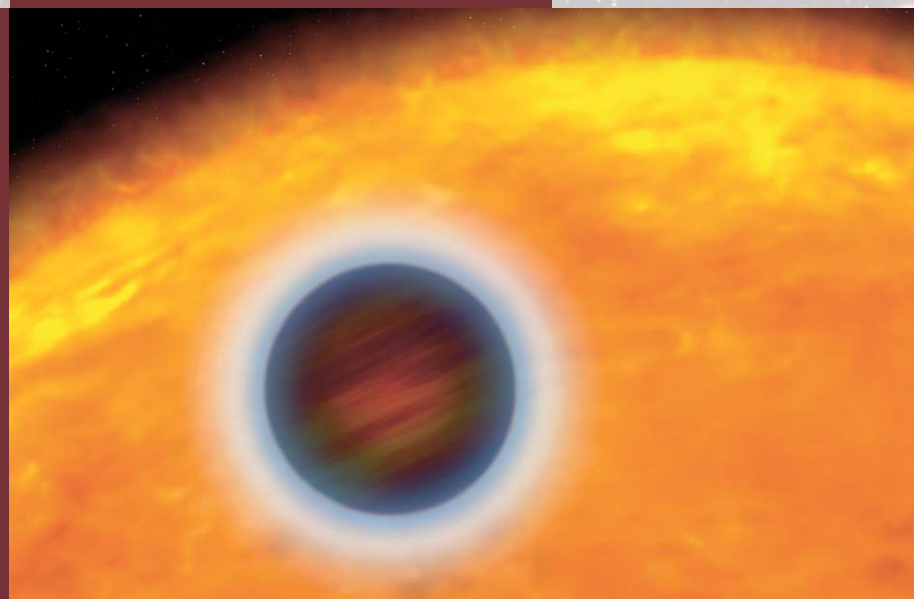
I alle tilfælde kræves der ekstremt præcise målinger for at kunne opfange de svage signaler, og kun de bedste og største astronomiske teleskoper har mulighed for at deltage i jagten på biosignaturer.

afsløre, om de indeholder tilsvarende eller andre stoffer. Det er på den måde, vi allerede har fundet vanddamp og metangas på visse exoplaneter.

Exoplanet

Hvis en exoplanet i sin bane omkring sin moderstjerne kommer ind foran stjernen, vil der ske en ekstra absorption af lyset på grund af den gas, som findes i exoplanetens atmosfære. Er der fx ilt eller kuldioxid i atmosfæren, vil dette kunne ses ved at ekstra stjernelys opfanges i exoplanetens atmosfære og dette kan både afsløre, hvilke gasarter der findes, og i hvor store mængder de findes. Ved målinger fra Hubble rumteleskopet (HST) er det således lykkedes at finde grundstoffet natrium i atmosfæren for exoplaneten HD 209458b.

Illustration : (NASA/ESA)



år siden. Inden denne periode havde Jorden allerede været befolket af mikroskopisk liv i omkring 1,5 milliarder år. Den ilt, som cyanobakterierne frisatte, blev dels brugt som åndingsmiddel af organismerne selv, eller den reagerede kemisk med opløst jern i oceanerne eller med mineralerne i klipperne.

Først da produktionen af ilt oversteg forbruget, steg iltkoncentrationen i atmosfæren. Dermed var grundlaget også skabt for dannelsen af betydelige mængder af ozon i de øvre lag af atmosfæren. Ozon spiller en væsentlig rolle for, at levende organismer kunne forlade vandet og kolonisere landområderne samt atmosfæren, da det effektivt fjerner den meget skadelige del af solens UV-stråling.

Ilt og albedo

En anden vigtig egenskab, som gør ilt så velegnet som biosignatur, er dens reaktivitet. Hvis vi laver et lille tankeeksperiment, hvor vi stopper al iltproduktion i verden nu og her, så vil det tage ca. 5.000 år, før ilten er brugt op.

Hvis man således finder høje iltkoncentrationer i en exoplanets atmosfære, vil dette ikke bare indikere, at der har været iltproducerende livsformer til stede på planeten en gang i dens historie, men også, at disse organismer stadigvæk er til stede eller i det mindste har været det for relativt kort tid siden på en geologisk tidsskala. Ilt- og ozonkoncentrationen i atmosfæren er dermed et resultat af et dynamisk sammenspil mellem biologiske og ikke-biologiske faktorer.

Kan man slet ikke forstille sig et scenario, hvor høje iltkoncentrationer kan opbygges i en planets atmosfære, uden at fotosyntetiserende organismer er ophav til ilten? Jo det kan man godt. Hvis planeten er dækket af is, og klipperne og andre reaktive stoffer er afskærmet fra atmosfæren kan den fotokemiske spaltning af vand føre til en ganske betydelig iltkoncentration. Derfor skal man både se på planetens albedo (dvs. hvor meget lys den reflekterer) og på iltkoncentrationen. Er planetens albedo høj, hvilket kan skyldes et isdække, er der en vis

Signaler fra fjerne exoplaneter

Der findes flere eksperimenter, som forsøger at detektere signaler, som evt. kan være udsendt fra intelligente civilisationer på fjerne exoplaneter. Signalerne kan være meget svære at finde blandt alle andre signaler, vi modtager fra rummet. Specielt to typer af signaler har været diskuteret, lys fra kunstige lyskilder (har ikke samme lysspektrum som naturlige lyskilder) og radiosignaler. SETI Institutet i USA har været aktive i eftersøgningen af signaler fra rummet, og astronomerne har bl.a. ved brug af Allen Telescope Array lyttet efter signaler fra planeten Kepler-22b, uden dog at opfange nogen.

Tidslinje

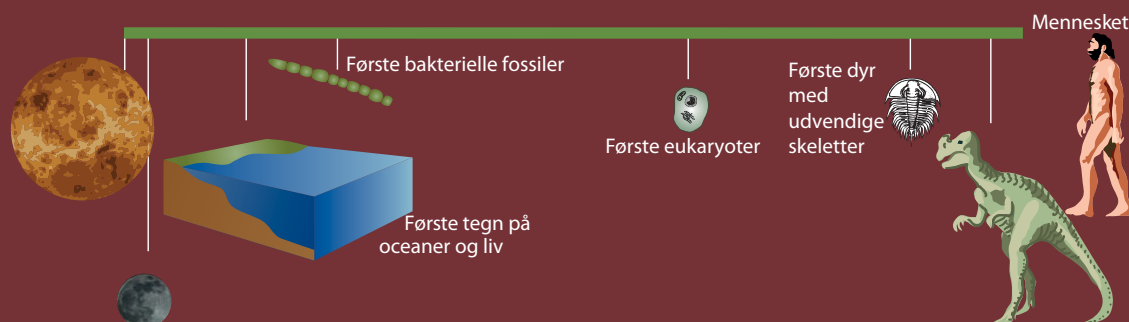
Væsentlige hændelser i Jordens udviklingshistorie. De første spor af liv findes i de ældste klipper, man har fundet på Jorden – Isuaklipperne i Grønland. Disse klipper indeholder små kulstofkorn, som ser ud til at stamme fra mikroorganismer, der har været i stand til indbygge kuldioxid ligesom planterne gør det i dag. Desuden peger forholdet mellem forskellige isotoper i klipperne på, at der lokalt har været frit ilt tilstede. Dog

var koncentrationen af ilt ikke høj nok til at kunne producere synlige spor i atmosfæren. De ældste bakteriefosiller er fundet i 3,4 milliarder år gamle klipper, og de ligner moderne cyanobakterier (blå-grønne alger). Disse bakterier er i stand til at frisætte ilt under fotosyntesen. Der går dog mere end 1 milliard år, før iltkoncentrationen i atmosfæren begynder at stige. Tilgængeligheden af ilt har haft en helt ekstraordinær indflydelse på evolutionsprocessen, såsom udviklingen af komplekse flercellede dyr, som startede for godt 1 milliard år siden.

Ilt og komplekse livsformer

Udover at være en biosignatur med en stor troværdighed er ilt også forudsætningen for udviklingen af komplekse livsformer. En planet uden ilt i atmosfæren kan således godt huse liv, men kun af den mikroskopiske slags. Intelligente aliens vil

Milliarder år før nu



sandsynlighed for, at iltproduktionen skyldes fotokemiske processer. Er albedoen derimod lav og man ligefrem kan se, at spekteret har ligheder med Jordens, er der stor sandsynlighed for, at ilt i atmosfæren skyldes fotosyntese, og at der dermed ikke bare er levende organismer på den pågældende planet, men tilstedeværelsen af ilt åbner mulighed for tilstedeværelsen af komplekse flercellede livsformer.

Vælg altid den enkle løsning

Ilt og ozon indtager altså førstepladsen blandt biosignaturer, men de er som nævnt ikke de eneste biosignaturgasser. Lige nu er forskere i gang med at undersøge, om der er metan i atmosfæren af vores naboplanet Mars. Metan er interessant, da det på Jorden for det meste produceres af mikroorganismer. Jordbaserede spektroskopiske undersøgelser har vist, at der lokalt frigives små mængder metan til atmosfæren, og da metans levetid er relativt kort, må denne frigivelse være sket for ganske nyligt. Marsroveren Curiosity, som landede på

Mars' overflade i august 2012, skal nu bl.a. undersøge, om der er metan i Marsatmosfæren ved direkte at måle koncentrationen, og desuden er roveren udstyret med et massespektrometer, som kan bestemme isotopsammensætningen i det målte metan.

Det afgørende for alle biosignaturer, uanset om det er gasser eller specifikke mineraler, er, at de entydigt kan tilskrives en biologisk oprindelse. Hvis der er den mindste tvivl om deres dannelse, bør man vælge den mest enkle tolkning, og det er altid den kemisk/fysiske, hvis en sådan findes. Et godt og meget lærerigt eksempel er meteoritten AHL84001, som man mente bar fem forskellige kemiske og fysiske spor af Marsliv i sig. Denne konklusion blev i 1996 publiceret med pomp og pragt i det amerikanske tidsskrift *Science*. Alle efterfølgende tests viste, at det var muligt at forklare de fem indikatorer på en knap så spektakulær måde.

I dag er der kun ganske få tilbage, der anser meteorit AHL84001 som en hilsen fra de grønne mænd. ■

Videre læsning

Minik Rosing, Livet, solen og landet – jagten på Jordens tidligste liv, 2011, Kvant 6:8-11.

Ekstramateriale:

Tabel som viser mulige biosignaturer:
<http://aktuelnaturvidenskab.dk/nyeste-numre/6-2012/>

man kun finde på planeter med ilt i atmosfæren. Dette skyldes, at komplekse fødekæder, som kan resultere i flercellede livsformer med komplicerede hjerner, kun udvikles og opretholdes i en verden, hvor ilt er åndingsmiddel.

Længden af fødekæden og dermed kompleksiteten af livsformerne er bestemt af den energimængde (dvs. biomasse), som kan overføres mellem leddene i kæden. Under iltfrie forhold er overførslen af energi mellem leddene meget begrænset. Organismer, som forgærer deres mad eller ånder med andre åndingsmidler end ilt, udnytter energien dårligt og producerer forholdsvis lidt biomasse (ca. 10 % for hvert led). Allerede efter to led kommer man under det kritiske niveau på 1 % af den energi, der oprindeligt blev tilført systemet. I et sådant system ville amøber eller lignende organismer være de mest komplekse former for liv.

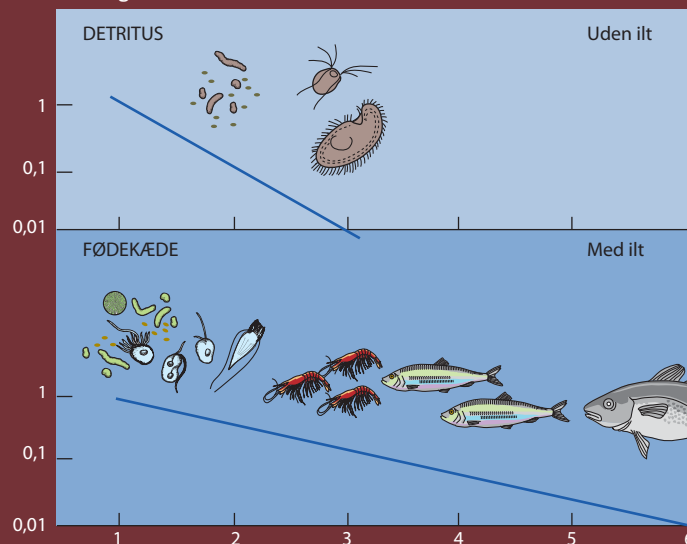
Bruges ilt som åndingsmiddel er situationen en anden. De iltåndende organismer er meget mere effektive til at danne biomasse, og i stedet for 10 % overføres 40 % af energien mellem leddene. Dette åbner op for fødekæder med op til 6 niveauer, som inkluderer de store rovdyr som hvidhajer, løver og os selv.

Granit som biosignatur

I 2006 fremsatte den danske geolog Minik Rosing, i samarbejde med franske og amerikanske kolleger, den kontroversielle hypotese, at bjergarten granit kan bruges som biosignatur. I deres model spiller fotosyntese den afgørende rolle. På globalt plan høster fotosyntetiserende organismer solenergi, svarende til tre gange den termiske energi, som frisættes af radioaktive henfald og processer drevet af tyngdekraften i

Jordens indre. Den kemiske energi, som de fotosyntetiserende organismer opsamler, kan indgå i de geokemiske forvittringsprocesser, som fører til ændringer af bjergarterne og sidst til dannelse af granit, som er hovedbestanddelen af kontinenterne. Ifølge Rosing og kolleger ville man ikke finde kontinenter på Jorden, hvis ikke denne energioverførsel havde fundet sted gennem de sidste 3,8 milliarder år. Som støtte for deres hypotese peger forskerne på, at der hverken findes tegn på granit eller kontinenter (for ikke at tale om fotosyntetisk liv) på de andre terrestriske planeter i vores solsystem, inklusive vores måne og asteroiderne. Man finder heller ikke spor efter kontinenter og granit på Jorden i de første 850 millioner år af Jordens historie. De ældste spor efter fotosyntetiserende bakterier finder man i 3,8 milliarder år gamle bjergarter i Grønland.

Relativt energiflow



Kilde: Fenchel T & Finlay B.J. Ecology and Evolution in Anoxic Worlds, Oxford Series in Ecology and Evolution.

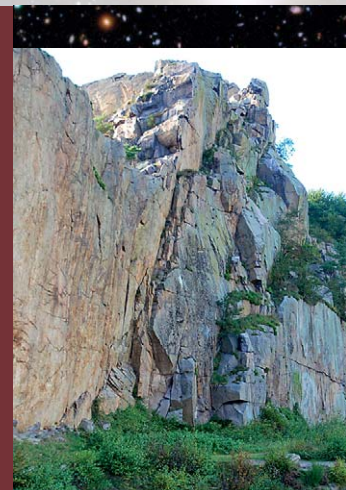


Foto: Colorbox.

ALMA – porten til det kolde, støvede

I det nordlige Chile er det enorme ALMA-teleskop ved at tage form, men allerede nu giver det enestående astronomiske øje os et helt nyt syn på universet.

Forfatter



Michael
Linden-Vørnle,
astrofysiker,
Tycho Brahe

Planetarium
Mykal@tycho.dk

I den tynde og knastørre luft på den fem kilometer høje Chajnantor-højslette i den chilenske Atacama-ørken er et gigantisk astronomisk teleskop netop nu ved at blive bygget. Efter planen skal teleskopet ved navn ALMA officielt indvies i marts 2013, men allerede nu er ALMA det bedste af sin slags. Astronomer fra hele verden står derfor i kø, for at få adgang til teleskopet.

ALMA er en forkortelse for Atacama Large Millimeter/submillimeter Array – et navn, der henviser til, at det store teleskop i Atacama laver observationer af millimeter- og submillimeter-stråling, der er en mellemting mellem radiostråling og infrarødt lys (varmestråling). Denne stråling er imidlertid meget vanskelig at observere fra jordoverfladen, da atmosfærens indhold af vanddamp forstyrrer. Det er derfor ingen tilfældighed, at ALMA bygges på Chajnantor-sletten i fem kilometers højde, der er et af de tørreste steder i verden. Her kan millimeter- og submillimeter-strålingen forholdsvis uforstyrret nå ned til teleskoperne.

Observationer i millimeter- og submillimeter-området gør det muligt at studere de kolde, gas- og støvrige områder i universet, hvor nye stjerner og planeter fødes. Submillimeter-området er også meget velegnet til at studere de allerfjerneste galakser. På sin vej mod Jorden er lyset fra disse fjerne objekter nemlig blevet strakt så meget af universets udvidelse, at det her hos os er blevet til submillimeter-stråling.

Store forventninger

Forventningerne til ALMA er meget store. Astronomerne håber at kunne observere de første galakser, der blev dannet i universet og studere ældre galakser, hvis store indhold af støv blokerer lyset fra deres stjerner. Sådanne observationer vil give ny viden om galaksernes dannelse og udvikling. Derudover håber forskerne, at ALMAs undersøgelser af områder i vores egen galakse, Mælkevejen, hvor nye stjerner fødes, kan lære os meget mere om dannelsen af stjerner, planeter og måske give os indsigt i selve livets oprindelse.

Fire af ALMAs
antenner på
Chajnantor-
højsletten.

Foto: ESO/José Francisco
Salgado



og fjerne univers

Når ALMA er færdigbygget i 2013, vil det bestå af i alt 66 antenner, der vil kunne anvendes som ét stort eller flere større teleskoper. Antennerne har ikke samme størrelse, idet der vil være 54 antenner med en diameter på 12 meter og 12 antenner på syv meter i diameter. ALMA er et internationalt samarbejdsprojekt, hvor både Europa, USA, Canada, Japan og Chile deltager. Europa repræsenteres af det Europæiske Syd Observatorium (ESO), som også Danmark er medlem af.

De første resultater

Selvom ALMA stadig er under konstruktion, er der siden efteråret 2011 blevet gennemført videnskabelige observationer med teleskopet – såkaldt Early Science. Her er der allerede opnået meget interessante resultater, der mildt sagt lover godt for fremtiden, når ALMA er helt færdigbygget.

Et godt eksempel på ALMAs formåen er opdagelsen af karakteristisk radiostråling fra et sukkerstof, der hedder glykolaldehyd. Sukkerstoffet er blevet

Mange antenner – ét teleskop

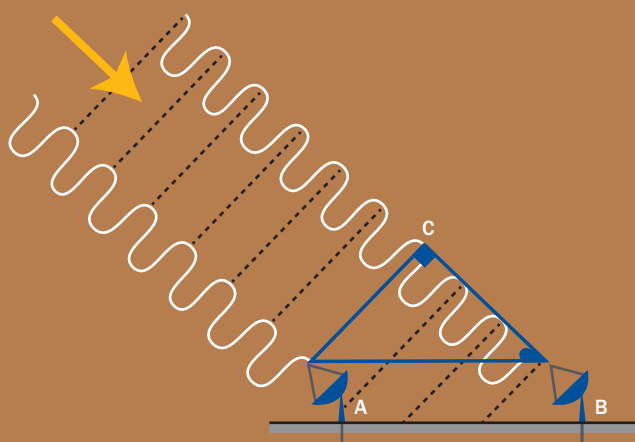
ALMA kombinerer signalerne fra sine mange antenner på en særlig måde, så de tilsammen virker som ét stort teleskop på størrelse med den største afstand mellem antennerne. Denne teknik er den form for interferometri, der kaldes apertursyntese.

For ALMA kan størrelsen af teleskopet varieres fra 150 meter, når det er mest kompakt, til 16 kilometer når det er størst. Jo større teleskopet er, desto skarpere er dets syn.

Det grundlæggende princip bag interferometri kan ses på illustrationen med kun to antenner (A og B), hvor strålingen fra et objekt på himlen er repræsenteret ved bølger. Fordi strålingen rammer i en skrå vinkel, vil bølgefronten først ramme antenne A og derefter antenne B. Det skaber en forskydning af fasen for bølgen, der modtages af de to antenner. Når signalerne fra antenne A og B kombineres, vil de enten forstærke hinanden eller udligne hinanden, afhængigt af faseforskydningen.

Efterhånden som Jorden drejer rundt og objektets position på himlen ændrer sig, vil faseforskydningen også ændre sig og dermed også det kombinerede signal.

Set over tid vil signalet danne et karakteristisk mønster ("fringe pattern" på engelsk), der kan analyseres og afsløre det observerede objekts position og størrelse. Hvis der er flere antenner – som det er tilfældet for ALMA – kan signalerne fra antennerne kombineres på kryds og tværs, så mønstrene i sidste ende kan skabe et billede af det observerede objekt.



Læs mere om, hvordan ALMA laver billeder

www.almaobservatory.org/science_articles/05_how_will_alma_make_images.pdf





En illustration af det færdigbyggede ALMA på Chajnantor-højsletten. Antennerne flyttes rundt med særlige transportvogne.

Foto: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), L. Calçada (ESO)

fundet i gassen omkring en ung dobbeltstjerne i Mælkevejen kaldet IRAS 16293-2422. Det er ikke første gang astronomerne finder glykolaldehyd i rummet, men det er første gang glykolaldehyd er set tæt på en stjerne, der minder om Solen, i en afstand, der i vores Solsystem svarer til afstanden mellem Uranus og Solen. Det er et forskerhold ledet af Jes K. Jørgensen fra Niels Bohr Institutet under Københavns Universitet, der står bag opdagelsen. Glykolaldehyd kan danne sukkerstoffet ribose, der er en vigtig bestanddel af RNA-molekylet. Her på Jorden er RNA-molekylet af afgørende betydning for overførslen af levende organismers arveinformation og forskerne formoder, at RNA-molekylet har spillet en nøglerolle for livets opståen. Sukkeret i IRAS 16293-2422 er derfor et vigtigt skridt på vej mod dannelsen af molekyler, der er forudsætningen for liv som vi kender det.

Her på Jorden sker de fleste kemiske reaktioner i flydende vand, men i de store gas- og støvskyer i rummet mellem stjernerne foregår kemien enten på overfladen af eller inden i mikroskopiske støvkorn. Det formodes, at simple molekyler som vand, formaldehyd, metan, ammoniak, kuldioxid og metanol findes på og i støvkornene. Dannelsen af nye stjerner kan skabe chokbølger, der breder sig gennem skyerne og rammer støvkornene. Når det sker tilføres energi, der skaber mere indviklede molekyler ud fra de simple. Samtidig bliver molekylerne revet løs fra støvkornene, så de kan danne store skyer i rummet.

Universel kemi?

Selvom de kemiske processer foregår på vidt forskellige måder i rummet og på Jorden, så kan resultaterne være meget ens. Både resultaterne fra ALMA og tidligere undersøgelser tyder på, at dannelsen af livets byggeklodser kan være en universel meka-

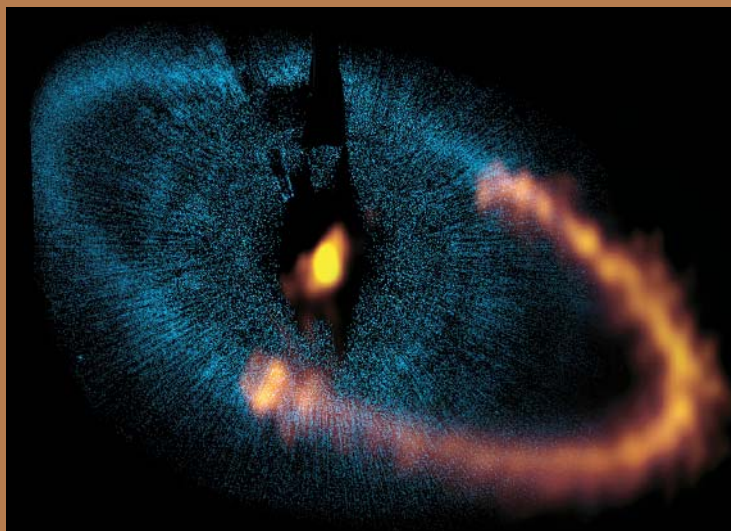
nisme. Det er naturligvis ikke det samme som at sige, at livet i sig selv er universelt. Der er nemlig stadig langt fra at have de nødvendige byggeklodser til at have en levende organisme.

Uanset om livet opstår, hver gang forholdene er til stede eller ej, så tyder alt på, at de store skyer i rummet hele tiden beriges med molekyler, der er vigtige forudsætninger for liv. Da skyerne er fødesteder for nye stjerner med tilhørende planetsystemer, vil disse systemer altså få tilført en vis mængde byggeklodser til liv. Når et planetsystem dannes vil de indre dele – tæt på den nyfødte stjerne – være meget varme og mange af molekylerne vil blive nedbrudt. Molekylerne vil dog kunne overleve langt fra stjernen, hvor også kometer dannes. Disse klumper af is, klippe og molekyler vil så senere kunne forsyne planeterne med både vand og livets byggeklodser.

Med udgangspunkt i dette scenario peger observationerne af sukker omkring IRAS 16293-2422 på, at livets byggeklodser efter alt at dømme findes på det rigtige sted, på det rigtige tidspunkt til at have på eventuelle planeter, der bliver dannet omkring den unge stjerne. Det er vigtige nye brikker til det puslespil, der skal vise os, hvordan livet kan komme på banen og ALMA er et fremragende instrument til at finde disse brikker.

Stjerne med dødsspiral

I et andet hjørne af astrofysikken har ALMA leveret et spektakulært resultat, der har givet et helt nyt syn på en gammel stjernes dødsdansk. Med observationer fra ALMA har astronomer nemlig opdaget en overraskende spiral skabt af materiale slynget ud fra en gammel stjerne ved navn R Sculptoris. Stjernen er en såkaldt rød kæmpestjerne – en stjerne, der i de afsluttende faser af sit liv har pustet sig op til enorm størrelse. En rød kæmpestjerne er kendetegnet ved, at



Støvringen omkring den klare stjerne Fomalhaut optaget med ALMA (gengivet med gule farver). Observationerne med ALMA har afsløret, at der findes en planet på hver side af ringen. Det underliggende blå billede er en tidligere optagelse fra Rumteleskopet Hubble. Bemærk, at ALMA indtil videre kun har observeret en del af ringen.

Foto: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO) og NASA/ESA Hubble Space Telescope



Døds kampen for den gamle stjerne R Sculptoris har givet sig udslag i denne spektakulære spiralstruktur, som er opdaget af ALMA.

Foto: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

dens yderste lag strømmer væk som en tæt stjernevind. Det skaber typisk en boble eller skal omkring den aldrende stjerne. Med jævne mellemrum oplever en sådan stjerne også såkaldte termiske pulser, hvor udslyngningen af materiale er meget voldsommere.

For R Sculptoris' vedkommende har tidligere observationer tydeligt vist, at stjernen er omgivet af en skal, men ALMA-observationerne har afsløret, at skallen indeholder en skive af materiale med en meget markant spiralstruktur. Forskerne bag opdagelsen mener, at spiralstrukturen er opstået, fordi R Sculptoris har en ledsagerstjerne, der kredser omkring den røde kæmpe og former det udslyngede materiale fra stjernen til en spiral.

En planet blev til to

Som et tredje og sidste eksempel har ALMA givet astronomerne et stort gennembrud i forståelsen af planetsystemet omkring stjernen Fomalhaut, der ligger omkring 25 lysår fra Jorden i retning mod det sydlige stjernebillede Piscis Austrinus (Sydlige Fisk). I 2008 afslørede billeder optaget af Rumteleskopet Hubble en planet i kredsløb om Fomalhaut, der kredser tæt ved en ring af støv, som omkranser stjernen. Senere observationer har sået tvivl om, hvorvidt planeten overhovedet findes.

Nu har ALMAs observationer kombineret med computersimuleringer imidlertid kastet nyt lys over

sagen. De nye resultater peger nemlig på, at ikke bare en, men to planeter kredser om Fomalhaut på hver deres side af støvringen. Planeterne er ikke blevet set direkte, men deres tilstedeværelse afsløres, fordi de med deres tyngdekraft påvirker støvpartiklerne i ringen og gør dens kanter skarpe.

Det er altså observationer af ringens form, der har gjort det muligt at afsløre deres tilstedeværelse. ALMA-observationerne og simuleringerne har også gjort det muligt at give et bud på planeternes størrelse og de har vist sig at være små – større end Mars, men højest nogle få gange større end Jorden. Ud fra Hubble-billederne havde astronomerne antaget, at den inderste planet var større end Saturn, men det har således vist sig ikke at være tilfældet. Det er formentlig forklaringen på, at efterfølgende observationer ikke har kunnet fange planeten.

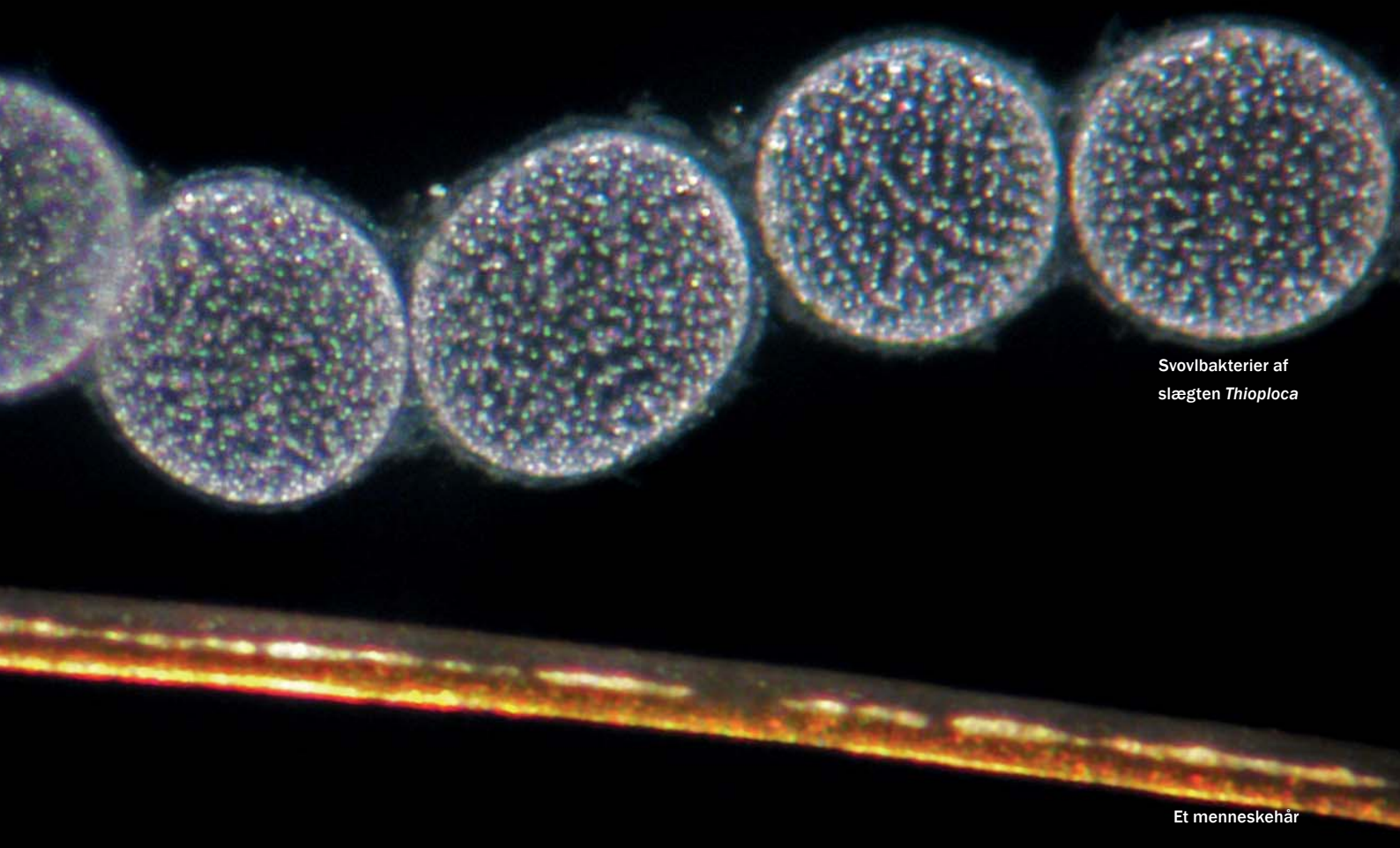
Toppen af isbjerget

Disse tre eksempler er imidlertid kun toppen af isbjerget. Når ALMA i foråret 2013 når sin fulde styrke, vil astronomer fra hele verden have fået et unikt øje mod det mørke, kolde, støvede og fjerne univers, der i bogstaveligste forstand vil gøre det muligt at se universet i et nyt lys. I kombination med store teleskoper på Jorden og i rummet, vil ALMA uden tvivl blive storleverandør af ny viden om både kosmisk fødsel, liv og død. ■

Læs mere

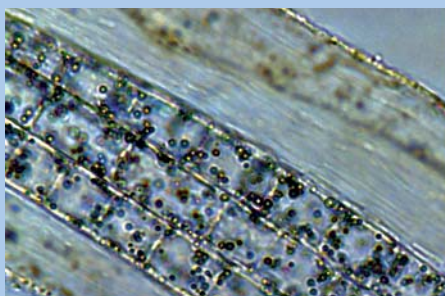
<http://www.eso.org/public/teles-instr/alma.html>

Verdens største bakterier



Svovlbakterier af
slægten *Thioploca*

Et menneskehår



Svovlbakterier af slægten *Thioploca*

Disse bakterier studerede forskerne ud for Chiles kyst i 1994. Navnet betyder "svovlfletning", fordi bakterietrådene ofte krydser over hinanden ligesom i en fletning, når de bliver klemt imellem mikroskoppræparatets to glas. På det midterste billede ses de frie ender af *Thioploca*, som strækker sig ud af

det fælles slimhylster, der typisk omgiver fra nogle få og op til hundrede tråde. Trådene strækker sig fra havbunden og op i det nitratrege havvand i en så tæt bevoksning, at det ser ud som, havbunden har fået pels (sidste billede).

Fotos: Markus Hüttel og Bo Barker Jørgensen

Bakterier er mikroskopiske og enkeltcellede, lyder en af biologiens grundsætninger. Men nede på havbunden lever en usædvanlig gruppe af svovlbakterier med centimeterlange og mange-cellede bakterietråde. Svovlbakteriernes størrelse hænger nært sammen med deres overraskende levevis, og de har en afgørende betydning for havets økosystem.

Det er marts 1994. En international gruppe af mikrobiologer og geokemikere med togtleder Henrik Fossing i spidsen lægger fra land i Talcahuano i det centrale Chile. De sejler ud med det chilenske skib Vidal Gormaz for at udforske nogle spændende samfund af kæmpebakterier, som lever vidt udbredt på havbunden langs Sydamerikas Stillehavskyst. I havbundens mudder danner bakterierne tætte bundter i lodrette slimhylstre. De tynde bakterietråde strækker sig fra havbunden og nogle centimeter op i vandet. Her svajer de i vandstrømmen som en pels af fine hvide hår. Trawlfiskere kender de trådformede bakterier som "spaghetti", fordi de bliver hængende i trawlen som en hvid masse af slimede tråde. De blev opdaget for videnskaben i 1977 af den chilenske havbiolog Victor Ariel Gallardo, der som den første erkendte, at det drejede sig om bakterier. Men hvad forklarer deres størrelse på flere centimeter? Forekommer de også andre steder i verdenshavet, og hvad er deres funktion i havbundens stofkredsløb?

Bakterier med dykkerflasker

Med ekspeditionen ud for Chile gør forskerne en opdagelse, som både forklarer forekomsten af de enorme svovlbakterier og deres ustanselige vandring op til det bundnære havvand og ned i muddret. Analyser af den kemiske sammensætning i havbundens porevand viser nemlig, at bakterierne optager det uorganiske næringssalt nitrat (NO_3^-) fra havvandet, ophober nitraten i en vandsæk i cellen og derefter bruger nitraten til at ånde med. Bakteriernes "nitrat-vakuoler" fungerer altså nærmest som en dykkerflaske, der tillader bakterierne at fortsætte med at respirere, selvom der ikke er ilt i omgivelserne.

Pendler i sneglefart

De trådformede svovlbakterier – som har det videnskabelige navn *Thioploca* – bruger deres nitratreserve, når de vandrer ned i muddret. De glider af sted ved at udskille slim i enten den ene eller den anden retning af tråden og kan derved bane sig vej igennem muddret. Det foregår i sneglefart med knapt en centimeter i timen, men det er hurtigt nok til, at de kan pendle op og ned imellem det nitratholdige havvand lige over bunden og det svovlbrinteholdige mudder, som starter i nogle centimeters dybde. Mens bakterierne er oppe, fylder de vakuolerne med nitrat fra havvandet, og mens de er nede,

fylder de det omgivende lag af den egentlige celledesubstans, cytoplasmaet, med svovl fra oxidation af svovlbrinte (H_2S). På den måde kan bakterierne hele tiden holde deres energistofskifte på et højt niveau. De behøver blot at pendle op og ned imellem nitraten, der er deres oxidationsmiddel, og svovlbrinten der udgør energikilden. Kuldioxid og næringssalte, som de behøver til deres vækst, er der i øvrigt rigeligt af i muddret.

Thioploca kan således udkonkurrere de mange encellede, mikroskopiske bakterier, som også er i stand til at udføre denne type stofskifte, men som mangler evnen til samtidig at lagre nitrat og svovl og dermed ikke har mulighed for at respirere, uden at begge stoffer er til stede samtidig.

Tilsammen en mangelcellet organisme

Bakterier er normalt ikke blot mikroskopiske med en størrelse på en tusindedel millimeter. De er også encellede organismer, som deler sig med mellemrum til to ens udseende datterceller. De trådformede svovlbakterier er en markant undtagelse. Deres tråde består af hundredvis af skiveformede celler, der tilsammen udgør en mangelcellet organisme. For enderne har trådene en tilspidset form, men ellers har alle cellerne den samme funktion og det samme stofskifte. Det er først og fremmest størrelsen og den usædvanlige levevis, der fascinerer os ved *Thioploca*-bakterierne. Deres tråde kan blive op til 7 centimeter lange, mens diameteren typisk er 1/25 millimeter, hvilket svarer til tykkelsen på et menneskehår. Over en strækning på 3000 kilometer langs Syd-

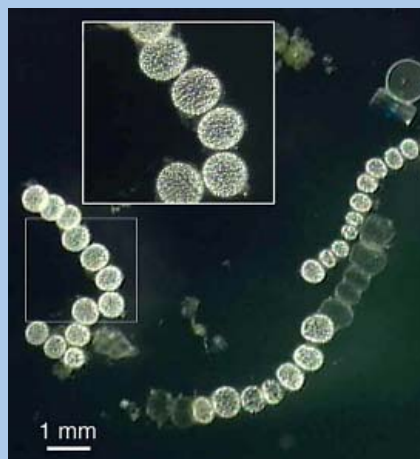
Forfattere



Bo Barker Jørgensen, professor i geomikrobiologi og leder af Center for Geomikrobiologi, Aarhus Universitet.
bo.barker@biology.au.dk



Camilla Nissen Toftdal, cand. mag. og centerkoordinator, Center for Geomikrobiologi, Aarhus Universitet.
toftdal@biology.au.dk



Det er påfaldende, at verdens største bakterier – *Thiomargarita namibiensis* – først blev opdaget i 1999. Det skyldes sandsynligvis, at de er så store, at man ikke har erkendt, at de er bakterier.

Perlerne i kæderne har en gennemsnitlig diameter på 0,2 mm og er let genkendelige på grund af deres lysbrydende svovldråber, som skinner hvidligt.

Foto: Heide N. Schulz

amerikas Stillehavskyst lever disse *Thioploca*-samfund i større eller mindre tæthed på vanddybder fra ca. 30 til 100 meter, og de udgør det største synlige bakteriesamfund på jorden.

Ny opdagelse: Lysende svovlperler

Det er april 1997. Forskergruppen rejser til det sydvestlige Afrika for at påmønstre forskningsskibet Petr Kottsov i jagten på nye samfund af *Thioploca*-bakterier. Både i det sydøstlige Stillehav og langs østranden af det sydlige Atlanterhav hersker der havstrømme, som fører næringsrigt vand op til havets overflade og forårsager en høj produktivitet af mikroskopiske alger. Forskerne forventer derfor igen at møde bakteriesamfund af de trådformede *Thioploca*. Men i stedet opdager de på havbunden ud for Namibien mærkelige kugleformede bakterier, som danner korte kæder af celler. De enkelte celler er fra en tiendedel og op til trekvart millimeter i diameter. De er altså ikke meget større end et punktum, men er alligevel de hidtil største kendte bakterieceller i verden. Under lup lyser de enkelte celler hvidligt på grund af deres indhold af hundredevis af mikroskopiske, lysbrydende svovldråber, og de ligner derved små perlekæder i det sorte mudder. De nyopdagede kæmpebakterier får det videnskabelige navn *Thiomargarita namibiensis*, som betyder "svovlperlen fra Namibien".

Størrelsen bedrager

*Thiomargarita*s store cellestørrelse bedrager med hensyn til organismernes reelle biomasse. Cytoplasmaet, som er den levende del af cellen, udgør kun en tynd skal på få tusindedele millimeters tykkelse. Resten af cellen består af den store vandige vakuole, som udgør over 95 % af volumen. Herved har *Thiomargarita* en enorm lagerkapacitet for nitrat, hvilket passer godt sammen med dens levevis. Bakterierne er nemlig, i modsætning til de trådformede svovlbakterier, ikke i stand til at bevæge sig, så det er afgørende for dem, at de har god lagerplads. De ligger omgivet af et gelé-agtigt hylster i de øverste

centimeter af havbunden og må "holde vejret", mens de i månedsvis venter på, at havstrømmen eller store Atlanterhavs-bølger – eller en udgasning af metan (CH_4) – skal rive den løse mudderbund med op i havvandet. Her kan de så i løbet af kort tid fylde vakuolerne med nitrat igen.

Svovlbakteriernes opgave

Hvorfor netop svovlbakterier har udviklet kæmpeformer hænger nøje sammen med havbundens kemi og stofkredsløb. Under et tyndt, iltet overfladelag er havbunden stort set en iltfri verden, en bakteriernes verden. Omkring halvdelen af det organiske stof, som aflejres på havbunden langs kontinenterne, begravnes ned i den iltfri del, inden det når at blive nedbrudt af bunddyr og andre iltrespirerende organismer. Nede under iltzonen dominerer især bakterier, som kan respirere med sulfat. De omdanner organisk kulstof til kuldioxid ved at oxidere det med sulfat (SO_4^{2-}), og samtidig omdannes sulfaten til svovlbrinte. Det er enorme mængder af svovlbrinte, som produceres nede i havbunden, globalt set omkring syv millioner tons daglig. Det er vigtigt for havets økologiske kredsløb, at svovlbrinten oxideres tilbage til sulfat, for ellers vil den giftige svovlbrinte trænge fra havbunden og op i vandsøjlen, hvor den vil dræbe havets dyreliv. Denne opgave bidrager de store svovlbakterier til.

Nitrat på lager

De store svovlbakterier er, hvad man kalder kemoautotrofe, idet de formår at udnytte den kemiske energi fra svovlbrinten til deres vækst. Normalt kræver kemoautotrofe bakterier ilt for at oxidere svovlbrinte. Fordi der ikke er ilt nede i havbunden, transporterer svovlbakterierne nitrat med ned som oxidationsmiddel til at nedbryde svovlbrinten med. Nitrat er velegnet til bakteriernes respiration, om end energiudbyttet er noget ringere end ved respiration med ilt. Nitraten får bakterierne fra havvandet, hvor den er et almindeligt algenæringsstof, der dog normalt kun forekommer i meget lav koncentration, oftest under 1 mg/liter. For *Thioploca* gælder det, at mens de befinder sig ved havbundens overflade, transporterer de hele tiden nitrat ind i vakuolerne. Derved kan de nå en koncentration på op til 25 g/liter inde i deres celler. Det er lige så meget som havvandets indhold af klorid (Cl^-), som sammen med natrium (Na^+) er hovedbestanddelen i havsalt (NaCl). Herefter er *Thioploca*-bakterierne rustet til at vandre ned i den svovlbrinte-holdige havbund, hvor de i dagevis eller endda i ugevis kan respirere videre uden at opbruge deres nitrateserve.

Brændstofreserve

De store svovlbakterier har endnu et trick i deres fysiologiske repertoire. De oxiderer nemlig ikke svovlbrinten direkte til sulfat, men først til elementært svovl, som derefter kan oxideres videre til sulfat. Elementært svovl (S^0) kender vi som et gult pul-



Nye svovlbakterier

Der opdaget stadig nye overraskende former af de store svovlbakterier, og nye arter bliver beskrevet.

For nylig har tyske mikrobiologer opkaldt en ny art af "svovlperler", *Thiomargarita joergensenii*, efter forfatteren til denne artikel.

Denne nye art er hidtil kun fundet inde i de tomme skaller af cirkelrunde kiselalger, hvis låg og bund danner en smuk gennemsigtig "pilleæske", hvor de fire spredte "piller" er svovlbakterierne. Kiselalgen er 0,2 mm i diameter.

ver, og i svovlbakterier eksisterer svovlet som mikroskopiske dråber af rent svovl. Fordi svovldråberne stadig indeholder størstedelen af den kemiske energi, som bakterierne udvinder ved at oxidere svovlbrinte, udgør de en værdifuld brændstofsreserve.

De store svovlbakterier har altså formået inde i cellerne at mellemlagre både energikilden og oxidationsmidlet til deres stofskifte. Dermed er de energitisk uafhængige af at leve i et miljø, hvor de samtidig har adgang til kemiske forbindelser, der kan levere energi, og forbindelser, der kan bruges til respiration, sådan som det ellers kræves af næsten alle andre bakterier. Heller ikke organismer, der respirerer med ilt, kan gemme på deres oxidationsmiddel, for cellemembraner er generelt utætte for gasmolekyler så som ilt, og derfor ville cellerne inden for sekunder igen tabe deres iltreserve.

De danske svovlbakterier

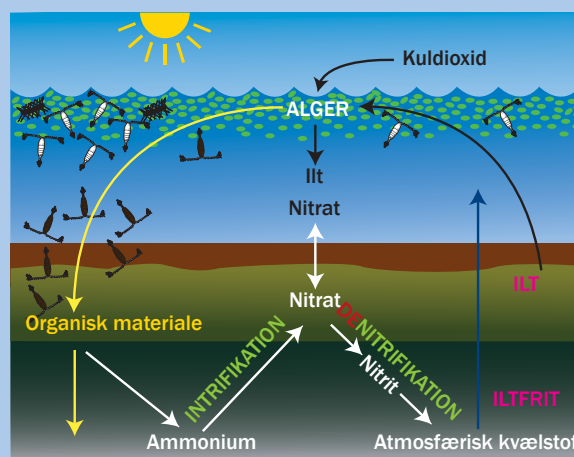
I november 1997 sejler en forskergruppe ud i Limfjorden for at hente prøver af de hjemlige *Beggiatoa*. Ved eutrofiering og iltmangel danner de udbredte hvide belægninger på havbunden. Nu opdager forskerne, at *Beggiatoa* i lighed med *Thioploca* også oplager nitrat, og at de glider frit omkring oven på havbunden eller nede i de øverste få centimeter af muddret.

Respiration med en medbragt nitrattank er altså ikke blot en eksotisk livsform i fjerne områder af verdenshavet, men er vidt udbredt overalt, hvor *Beggiatoa* forekommer. Det mest overraskende er måske, at ingen har opdaget det før. Men når man først er på sporet af disse bakterier, så finder man dem mange steder. Faktisk forekommer der også en lille slægtning af *Thioploca* gemt i den danske havbund, specielt hvor nitratrigt ferskvand løber ud i fjordene.

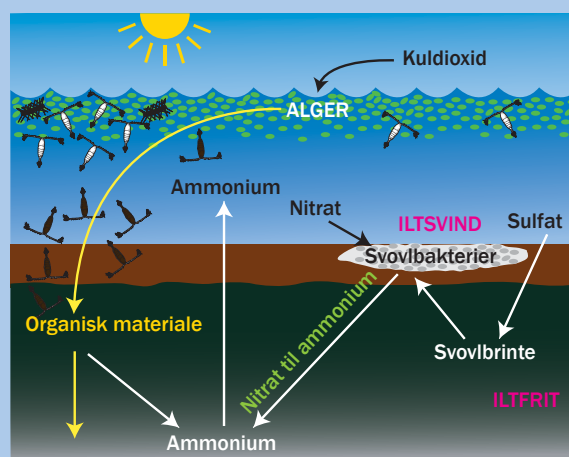
Da disse bakterier er så udbredte, er forskerne nu også i gang med nærmere at studere deres usædvanlige stofskifte og biokemi. Resultaterne tyder nu på, at selve vakuolen er opstået i løbet af svovlbakterierens evolution ved en indfoldning af cellernes ydre membran. Respirationen med nitrat er knyttet til vakuolemembranen, ligesom den er knyttet til den ydre membran hos nitratrespirerende bakterier uden vakuole.

Forskningen i dag

Moderne kortlægning af bakteriernes slægtskab og evolution er baseret på den genetiske kode i cellernes DNA. Det er nu lykkedes at bestemme hele den genetiske kode i en enkelt *Beggiatoa*-tråd med det overraskende resultat, at disse komplekse bakterier har et af de største genomer, som er fundet hos bakterier. I modsætning til "normale" bakterier er de store svovlbakterier enestående ved, at de forskellige arter faktisk har karakteristiske karaktertræk under



Den normale iltede havbund



Iltsvind og bundvending med *Beggiatoa*-hinde

Havbundens stofkredsløb

Ved en lav eller normal nedsinkning af organiske rester fra algeproduktionen i den øvre vandsøjle, fjernes en væsentlig del af det aflejrede kvælstofholdige materiale. Det sker igennem en serie nedbrydningsprocesser (figuren øverst).

Efterhånden som det aflejrede organiske materiale nedbrydes, frigøres organisk kvælstof i form af ammonium. Er havvandet og de øverste millimeter til centimeter af havbunden godt iltet, sørger såkaldte nitrificerende bakterier for at oxidere ammonium til nitrat. Denne nitrat trænger så igen ned i den iltfri zone, hvor den af mangfoldige bakterier kan bruges til respiration af organisk materiale, en proces som kaldes denitrifikation. Bakterierne omdanner nitraten til atmosfærisk kvælstof, som er uanvendelig for algerne og de fleste bakterier. Dermed har det marine økosystem tabt kvælstofholdigt næringssalt, og der er sket en reduktion i graden af eutrofiering.

Når økosystemet overgødses med store mængder nitrat, øges algeproduktionen, mens iltindholdet i de nedre vandlag aftager. Samtidig øges den organiske belastning af havbunden, hvorved de iltfri processer og især svovlbrinteproduktionen stimuleres. Ammonium kan ikke længere oksideres til nitrat i havbunden, men trænger op i havvandet (figuren nederst). De denitrificerende bakterier bliver fortrængt af nitrat-akkumulerende svovlbakterier, som overtager havbundens nitratomsætning.

Mange af de store svovlbakterier omdanner imidlertid ikke nitraten til atmosfærisk kvælstof, men reducerer den derimod tilbage til ammonium. Derfor taber havbunden evnen til selvrensning, hvilket forøger den uønskede forureningsvirkning af kvælstofgødskning. Først i de øvre vandmasser oxideres ammonium tilbage til nitrat og er derefter til rådighed for yderligere algeproduktion. For de overgødskede kystfarvande må dette betragtes som en negativ effekt, mens det for de store svovlbakterier snarere er med til at bevare deres optimale miljøbetingelser.



BOOK EN STUDERENDE

TIL DIN UNDERVISNING I MATEMATIK, FYSIK, KEMI MV.

Få et oplæg ved en ingeniørstuderende, der fortæller om overgangen fra gymnasium til universitet, studiemiljø og faglige udfordringer.

Prøv også...

Foredrag og workshops – lad os stå for undervisningen (hos jer eller os).

Kontakt os for en snak om, hvad der passer til jeres behov.

Studieretningsprojekter – giv dine elever inspiration og hjælp til studieretningsprojekt.

Nyhedsbrev – tilmeld dig vores nyhedsbrev på www.sdu.dk/tek/nyhedsbrev og få sidste nyt om vores brobygning.

Kontakt os på 6550 7326 eller brobygning@tek.sdu.dk

Læs om alle brobygningstilbud i Odense og Sønderborg på www.sdu.dk/tek/brobygning



En kerne af havbunden

Ud for Chiles kyst er hentet en kerne af havbunden op på dækket. Den iagttages af den chilenske havbiolog, Ariel Gallardo, der som den første beskrev de trådformede svovlbakterier, *Thioploca*, for videnskaben. I kernen ses en tæt hvidlig bevoxning af *Thioploca*, som strækker sig en centimeter op over det sorte mudder i kernen.

Usædvanlig forskningsformidling

Thiomargarita namibiensis fik i 2003 fik sit eget namibianske frimærke. Frimærket viser, hvor grafisk dekorative bakterieperlerne er. Et lignende billede prydede forsiden på tidsskriftet *Science*, da opdagelsen blev publiceret i april 1999.



Når det er smart at være lille

Hvorfor er næsten alle bakterier mikroskopisk små, omkring en tusindedel af en millimeter, mens kun nogle få vokser til synlig størrelse?

Den klassiske forklaring er, at bakterier lever af opløste stoffer i de vandige omgivelser og kun kan optage små molekyler igennem cellemembranen. Dermed er de afhængige af den molekylære diffusion af disse molekyler hen til cellens overflade. Diffusion er en hurtig og effektiv transportmekanisme for en lille organisme, men den bliver gradvist langsommere og mindre effektiv, når størrelsen øges. Det betyder, at jo større bakterieceller bliver, desto større er sandsynligheden for, at diffusionen ikke kan følge med deres behov for næring. Bakteriernes vækst bliver altså diffusionsbegrænset.

Man kan beregne, at bakterier under en sådan begrænsning kan opnå fire gange mere næring per biovolumen ved at reducere størrelsen til det halve. Bakteriernes mikroskopiske størrelse passer derfor godt til deres levevis: De er særdeles effektive til at optage opløste organiske og uorganiske stoffer og til at vokse hurtigt. Når de store svovlbakterier tilsyneladende kan omgå denne begrænsning, skyldes det, at de er hule. Respirationen foregår kun i det tynde lag af cytoplasma under celleoverfladen, mens den centrale vakuole ikke i sig selv forbruger energi.

mikroskopet, som vi kan sammenholde med deres genetiske identifikation.

Forskerne er i dag også på sporet af, hvordan respirationen med en indre nitrattvakuole fungerer rent biokemisk. Mens *Thioploca* omdanner nitraten til ammonium (NH_4^+), så synes i det mindste nogle *Beggiatoa* snarere at omdanne nitraten til atmosfærisk kvælstof (N_2). Dette er en vigtig iagttagelse, for denne forskel i nitratomdannelsen afgør, om de store svovlbakterier faktisk er med til at fjerne et af de vigtigste næringssalte i fjordene, som er årsag til eutrofiering og iltsvind.

I en verden af mikrometer-store bakterier er *Thioploca*, *Thiomargarita* og *Beggiatoa* fælles om at være giganter, og en kompleks og fascinerende levevis udgør hemmeligheden bag deres størrelse. De er alle højt specialiserede til at sammenkoble omsætningen af nitrat og svovlbrinte – og derfor spiller de en særlig rolle for havbundens kvælstof- og svovlkredsløb.

▼ Billedet viser en *Beggiatoa*-mätte på havbunden. *Beggiatoa* er trådformede svovlbakterier, som er velkendte fra danske farvande, hvor de især danner udbredte hvide belæggninger på havbunden i forbindelse med eutrofiering og iltmangel. Selvom disse bakteriehinder er udtryk for en uønsket miljøtilstand, så er bakterierne alligevel til gavn, fordi de oxiderer svovlbrinte og dermed kan udgøre en effektiv barriere imod svovlbrinte-udslip til havvandet. Så længe der endnu er lidt ilt eller nitrat tilbage i havvandet, kan selv en millimeter-tynd hinde af *Beggiatoa* være tilstrækkelig til at nedbryde al svovlbrinten i havbunden.

Foto: Peter Bondo Christensen



Læs mere

Fossing, H., Gallardo, V.A., Jørgensen, B.B., m fl., 1995: Concentration and transport of nitrate by the mat-forming sulphur bacterium *Thioploca*. *Nature* 374: 713-715.

Jørgensen, B.B., Gallardo, V.A., 1999: *Thioploca* spp.: filamentous sulfur bacteria with nitrate vacuoles. *FEMS Microbiology Ecology* 28: 301-313.

Schulz, H. N., Jørgensen, B.B., 2001: Big Bacteria. *Annual Reviews of Microbiology* 55: 105-137.

Schulz, H.N., Brinkhoff, T., Ferdelman, T.G., Marine, M.H., Teske, A., Jørgensen, B.B., 1999: Dense populations of a giant sulfur bacterium in Namibian shelf sediments. *Science* 284: 493-495.

Mußmann, M. et al. 2003. Phylogeny and distribution of nitrate-storing *Beggiatoa* spp. in coastal marine sediments. *Environmental Microbiology* 5: 523-533.

Jørgensen, B.B., 2010: Big sulfur bacteria. *The ISME Journal* 4: 1083-1084.

Ekstramateriale m. video:

Om svovlbakteriers bevægelsesmønstre: aktuelnaturvidenskab.dk/nyeste-numre/6-2012/

Havets plankton



Havet opsuger i dag en stor del af de drivhusgasser, som menneskeheden udleder. Det sker bl.a. takket være “den biologiske pumpe”, hvor havets små organismer er med til at sende CO₂ mod havets bund. Vi forsøger nu at forstå detaljerne i denne pumpe og dermed bidrage til at besvare spørgsmålet om, hvor lang tid havet kan blive ved med at rydde op efter os.



► Krill fanges ved hjælp af såkaldte Bongo-net. Forsøgene med krill foregår i store forsøgsflasker på 13 liter. På nederste foto ses en krill i et prøveglas før den lægges ned i de større forsøgsflasker. Stort foto viser *Meganyctiphanes norvegica*.

Foto: Wikipedia/Uwe Kils

Hvert forår sker der en massiv opblomstring af alger i Nordatlanten. Opblomstringen varer typisk 2-3 uger, og koncentrationen af alger bliver så høj, at man fra rummet kan se dem store grønne områder i det ellers blå hav.

Når algerne vokser, sætter de gang i et dræn af klodens CO₂, den såkaldte “biologiske pumpe”, som fjerner CO₂ fra atmosfæren og sender det ned på havets bund. Her bliver det lagret permanent, og kan således ikke længere virke som drivhusgas og bidrage til klimaændringer. I Nordatlanten er algeopblomstringen stor og derfor er pumpen også meget stærk. Det gør Nordatlanten til et helt oplagt sted at studere havets rolle i fjernelsen af menneskeskabt CO₂ fra atmosfæren.



bremses klimaændringer

I foråret deltog vi i en seks uger lang ekspedition med havforskningsskibet Meteor på Nordatlantens bølger som led i projektet EURO-BASIN, der er koordineret af DTU-Aqua (side 40). Om bord var vi en international gruppe på i alt 28 forskere, som hver havde deres forskningsprojekt. DTU-Aquas forskergruppe havde til opgave at undersøge, hvordan nogle af havets hidtil mere oversete organismer påvirker den biologiske pumpe. For mens nogle organismer bidrager til at hive CO₂ ud af atmosfæren, så er der andre, som nærmere får pumpen til at køre langsommere. Vi fokuserede på to hovedgrupper: mikroorganismer (dvs. virus, bakterier og enkelte dyreplankton) og krill (lyskrebs), som er større dyreplankton.

Mikroorganismer og krill har ikke meget tilfælles, men begge grupper har afgørende betydning for, hvor stor en andel af kulstoffet fra luften, som ender i bundvandet. Mikroorganismerne omsætter alger og dødt organisk materiale, hvorved de frigiver næringssalte og CO₂ til vandet. Krill derimod, æder alger og dyreplankton, og omdanner dem til tunge fækaliepiller fyldt med kulstof, som hurtigt synker ned på havets bund. Man kan dermed sige, at krillen forstærker den biologiske pumpe, mens mikroorganismerne bremser den, ved at holde det organiske stof i overfladen. Dog ved man endnu meget lidt om begge gruppers rolle i Nordatlantens økosystem.

Der er andre vigtige aktører i havets kulstofkredsløb end mikroorganismer og krill, fx vandlopperne – havets mest talrige flercellede organisme. Ligesom krill omsætter vandlopperne alger, og de er vigtig føde for fiskeyngel og derfor et centralt led i havets fødekæde. Men da vandlopperne i Nordatlanten allerede er meget velbeskrevne, har vi valgt at se bort fra dem i denne artikel.

Krill accelererer den biologiske pumpe

Krill er rejelignende krebsdyr og er efter vandlopper den næststørste gruppe af dyreplankton i havet. Krill lever af mindre plankton såsom alger og mindre

dyreplankton, mens de selv bliver ædt af større dyr som fisk, hvaler og havfugle.

Krill har den specielle adfærd, at de om dagen opholder sig nede i mørket for at undgå at blive ædt af rovdyr, mens de om natten svømmer op til de øvre vandlag for selv at æde plankton. Fordi krill æder om natten, for efterfølgende at svømme ned om dagen, kan det betyde, at deres fækalier bliver udskilt på dybere vand end der, hvor de har ædt. Det betyder, at deres adfærd medvirker til en forstærkning af den biologiske pumpe ved at accelerere transporten af kulstof ned mod havets dyb. Krill-fækalier har nemlig et højt indhold af kulstof og er så tunge, at de kan synke flere hundrede meter om dagen.

Da krillene er tæt på overfladen om natten, er det også på dette tidspunkt, at de er lettest at fange. På ekspeditionen arbejdede "krill-holdet" derfor hovedsageligt om natten. Krill-holdet var dog langt fra alene om natten, da skibets mange andre forskere ikke kun arbejdede i dagtimerne. Nogle undersøgte forskelle i planktonsamfundet eller havets fysik mellem dag og nat. Andre arbejdede blot om natten, fordi et forskningsskib er dyrt i drift (225.000 kr. pr døgn), så tiden skal bruges fuldt ud.

For at undersøge krillens mulige rolle i den biologiske pumpe, blev der lavet forskellige forsøg om bord på skibet.

Efter krillene var blevet fanget med et såkaldt Bongo-net blev de puttet i flasker som var fyldt med naturligt havvand, som indeholdt forskellige typer af alger og dyreplankton. Her fik krillene lov til at svømme rundt og æde i et døgn. Ved at måle indholdet af plankton i det vand, som krillene svømmede rundt i ved forsøgets start og så igen efter 24 timer, er det muligt at beregne hvor meget plankton krillene æder. Indtil videre tyder vores analyser af resultaterne på, at krillene æder alt, hvad der bliver serveret for dem, dvs. alt fra alger til vand-

Forfattere



Maria Lund Paulsen, m. sc.-studerende, Bergen Universitet og DTU-Aqua. mlpa@aqua.dtu.dk



Karen Riisgaard, ph.d.-studerende, DTU-Aqua. krii@aqua.dtu.dk



Mette Dalgaard Agersted, ph.d.-studerende, DTU-Aqua. mda@aqua.dtu.dk



Line Reeh, kommunikationsmedarbejder, DTU-aqua. lre@aqua.dtu.dk



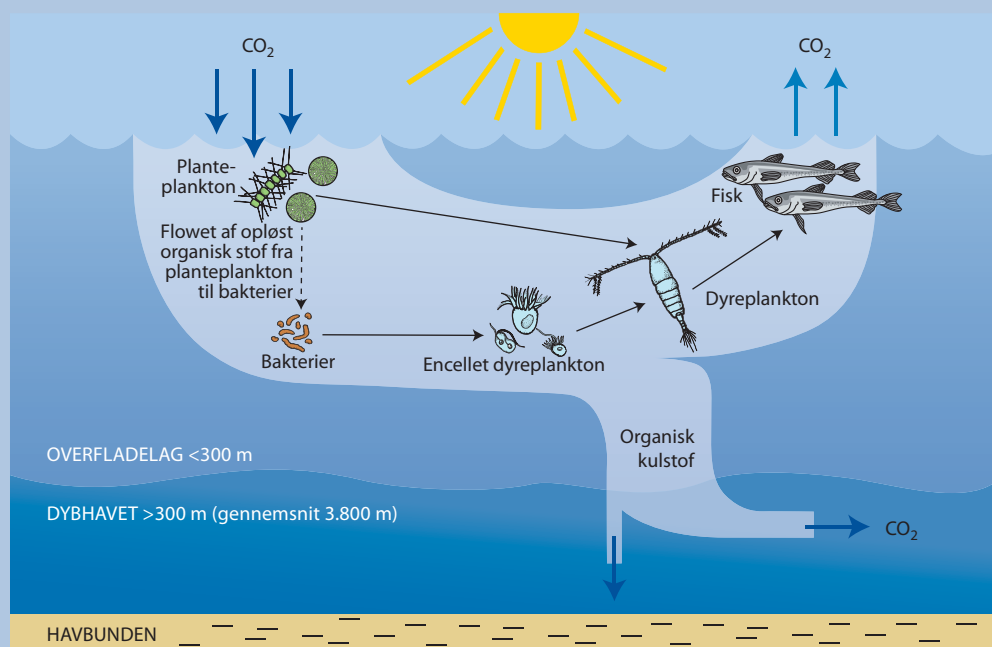
Torkel Gissel Nielsen, dr. scient og professor, DTU-Aqua. tgjin@aqua.dtu.dk

Den biologiske pumpe

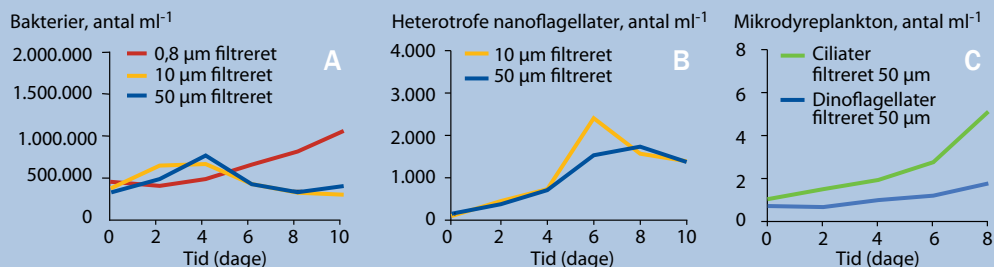
Havets optag af CO_2 sker primært ved to processer: Den fysiske pumpe, hvor CO_2 fra atmosfæren ved kontakt med havets overflade vil søge ligevægt med atmosfærens CO_2 -indhold. Kemiske reaktioner medvirker til, at der vil være et stadigt optag af CO_2 ved overfladen, så længe overfladevandet blandes ned. Denne pumpe fastholder dog kun CO_2 over en begrænset tidshorisont (maks. 1000 år). Herefter vil CO_2 afgasse igen, når det blandes op til overfladen, hvor det nu har et højere CO_2 -indhold end atmosfæren. Den fysiske pumpe er tæt koblet til havets dybvandsdannelse (se Aktuell Naturvidenskab nr. 3/2007).

Den biologiske pumpe er det eneste naturlige dræn for kulstof på jorden, som kan begrave CO_2 over geologisk tid. Den sætter i gang, når algerne optager CO_2 eller HCO_3^- (bicarbonat) og ombygger dette til organisk kulstof. Dette ædes af både større dyreplankton og mikroorganismer gennem komplekse fødekæder. Langt det meste kulstof respireres i vandmasserne, men en mindre del (ca. 1 %) af kulstoffet vil i sidste ende synke mod havets dyb både i form af døde planktonceller og fækaler fra dyreplankton, og vil begraves her over geologisk tid og i sidste ende blive til fossilt kulstof. Endnu en betydelig del af havets organiske kulstof er de mindste opløste kulstof-forbindelser, som når ned i dybhavet ved fysisk nedblanding og kan blive der i 5000-6000 år.

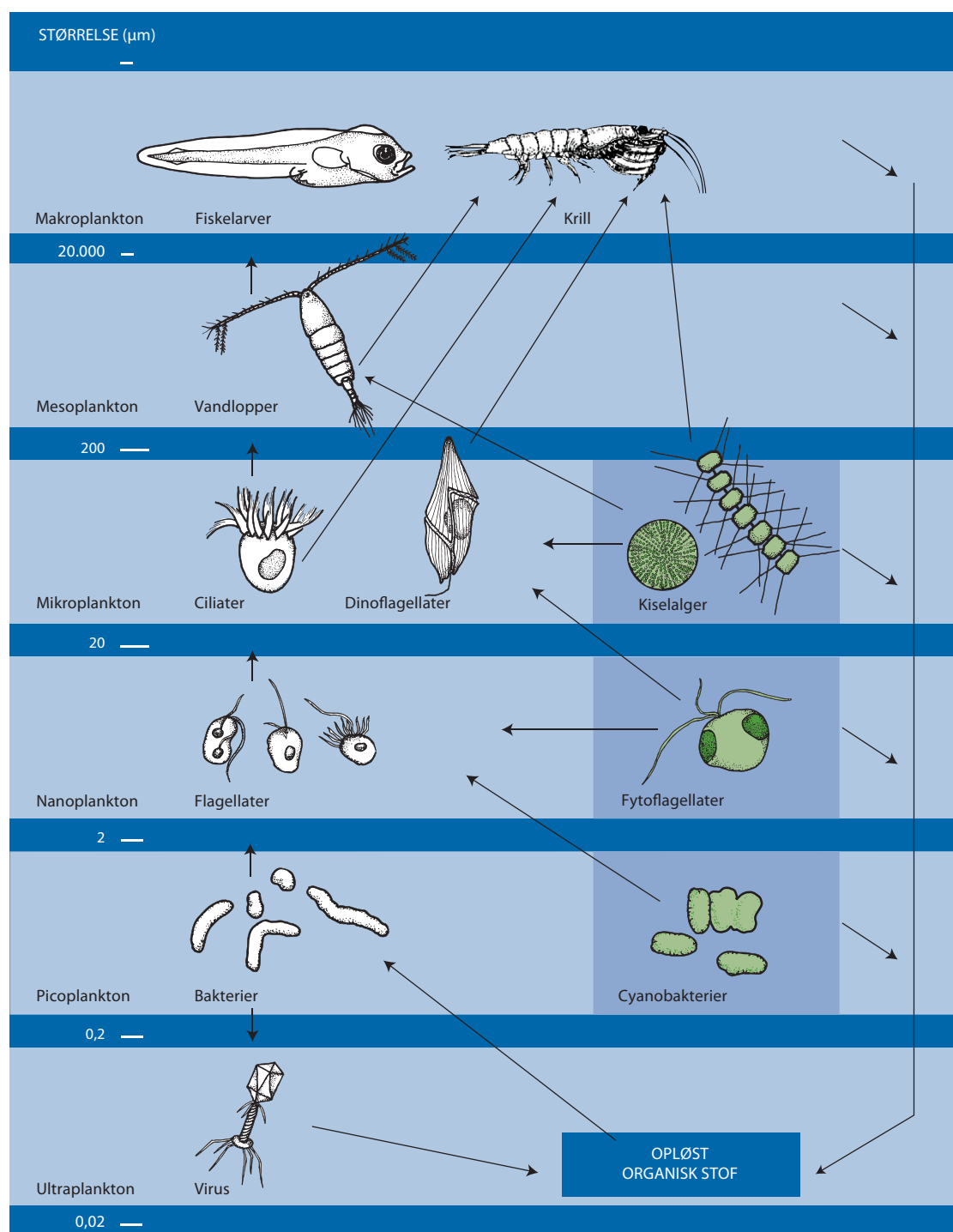
Hvilken pumpe, der begraver mest kulstof, varierer over året og fra område til område. I reglen vil den biologiske kulstof-pumpe være stærkest over sommeren, hvor der sker stor opbygning og nedsynkning af organisk materiale. Den fysiske pumpe er som regel stærk over vinteren, når der er kraftig nedblanding af overfladevandet.



Antal af mikroorganismer set over et 10-dages forløb



Resultat fra forsøg som viser hvordan forskellige grupper af mikroorganismer vokser/aftager i antal over 10 dage, hvilket giver en ide om, hvem der spiser hvem. I havvand, som er suget gennem et filter med huller på 0,8 µm, slipper kun bakterier igennem. Dermed er der intet encellet dyreplankton, som kan spise bakterierne, og derfor vokser antallet af bakterier i dette vand stabilt gennem perioden (se den røde kurve i A). Derimod aftager antallet af bakterier i det vand, der er filtreret ved 10 µm (gule kurve) og 50 µm (blå kurve). Grunden er, at her spises bakterierne af de små encellede dyr (heterotrofe nanoflagellater) som er sluppet igennem de større filtre. Antallet af heterotrofe nanoflagellater aftager dog efter dag 6 (B). Det skyldes, at det større encellede dyreplankton, som æder nanoflagellaterne, stiger i antal (C). Vi kan ud fra kurverne beregne, hvor meget de forskellige grupper kan spise om dagen.



Fødenettet

Havets pelagiske fødenet består af mange størrelsesgrupper. Her vises strømmen af kulstof gennem forskellige led af fødekæden.

lopper. Det betyder altså, at hvis der ikke er alger til stede, som fx om vinteren, så vil krillene ernære sig af andet plankton. Krill sender derfor kulstof bundet i fækalier ned mod havets bund året rundt, og er dermed flittige aktører i den biologiske pumpe.

Det usynlige dyreplanktons rolle

Det kan være svært at forestille sig, hvordan dyr mindre end spidsen af en knappenål, kan spille en rolle i den biologiske pumpe, men i kraft af deres enorme antal får de små dyreplankton faktisk afgørende betydning. Både deres krop og deres fækalier er så små, at det ikke kan synke. De bli-

ver derfor hængende i vandet, hvor de omsætter havets kulstof og via respirationen omdanner kulstof til CO_2 , hvilket modvirker den biologiske pumpe.

For at undersøge mikroorganismernes rolle i fødenettet lavede vi en række forsøg, hvor vi undersøgte hvem der spiser hvem. Her talte vi antallet af bakterier, små alger, encellede dyr (kaldet heterotrofe nanoflagellater), som spiser bakterier og større encellede dyr (kaldet mikrodyreplankton), som spiser de mindre encellede dyr gennem en tidsperiode på 10 dage og kunne se udviklingen i de forskellige

Sådan arbejder vi

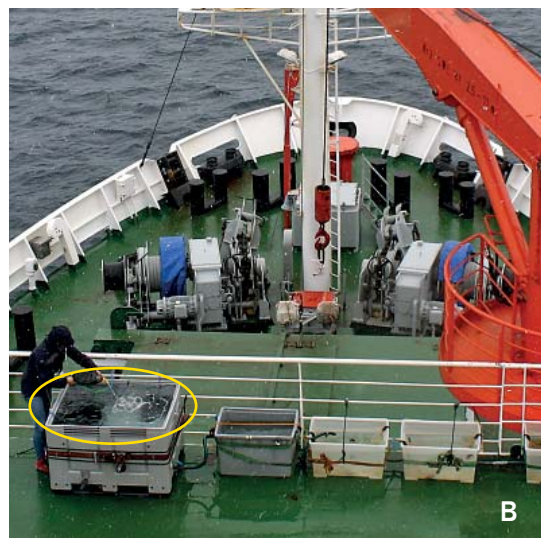
A Der hentes 100 L havvand op til forsøget. Det foregår på en skånsom måde, hvor de mørkegrå "niskin" flasker hejses ned og lukkes på 30 m dyb.

B I kølerum filtreres vandet for at fjerne de større dyreplankton, så de mindre kan vokse op og deres vækst kan undersøges. Det filtrerede vand fyldes på gennemsnitlige 2,5 liters flasker.

Flaskerne lægges i et kar på øvre dæk (indrammet af gul cirkel) og modtager her den naturlige variation i sollys. Karret gennemstrømmes konstant af havvand for at holde en naturlig havtemperatur.

C Flaskerne er lagt i poser, som kun lader 30 % lys slippe igennem, hvilket svarer til den lysmængde, der ville være ved den dybde, hvor vi tog prøverne fra.

D Hver anden dag tager vi prøver fra flaskerne (ca. 160 mL) og genfylder med havvand filtreret ved 0,2µm (herved filtreres alle organismer fra). På den måde får mikroorganismerne "friskt vand" og vi får vandprøver til at analysere.



grupper. Ud fra resultaterne kunne vi også beregne, hvor stor en mængde opløst organisk kulstof bakterierne optager og sender videre gennem mikroorganismernes fødenet. Overaskende så vi, at selv i vintermåneder, hvor de større alger ikke vokser, er der alligevel en vækst af bakterier og encellede dyr. Altså cirkuleres betydelige mængder kulstof i mikroorganismernes fødenet hele året rundt.

Bakterier og det opløste kulstof

En ukendt faktor i havets biologiske pumpe er alle de opløste organiske kulstofholdige forbindelser, som flyder rundt i vandet. Det kan fx være aminosyrer, DNA, rester af cellevægge eller kulhydrater, som er sivet ud af eller som bliver frigivet, når celler dør. Alt dette kaldes opløst organisk kulstof, og tilsammen er mængden af dette kulstof mellem 40 og 100 gange større end det kulstof, der er bundet i de større organiske partikler såsom plankton og krill-fækalier. Den samlede mængde af opløst organisk kulstof i havet er lige så stor som mængden af CO₂ i atmosfæren.

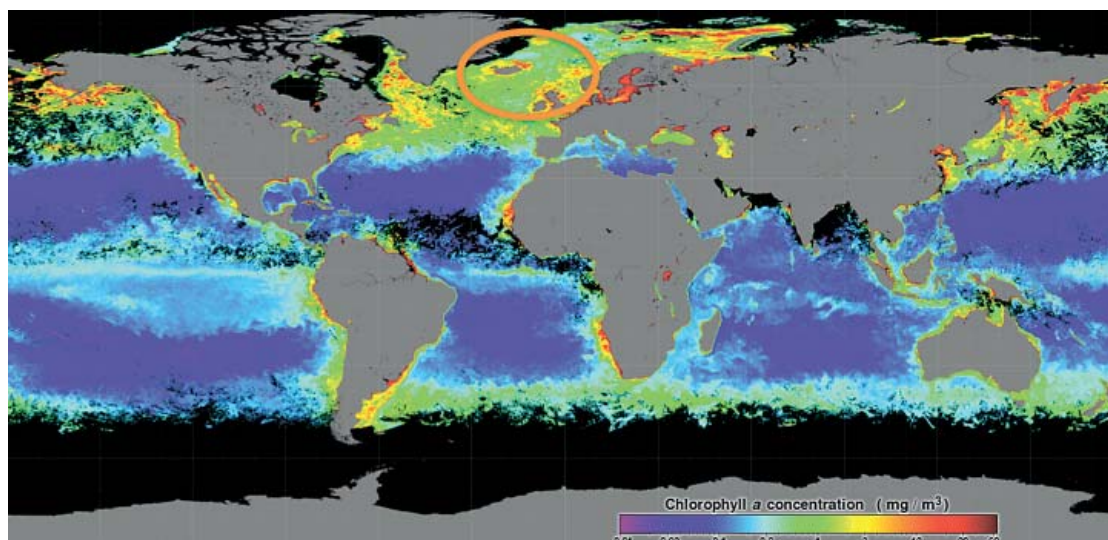
Bakterierne er de eneste organismer i havet, som kan optage og udnytte den store energipulje, der ligger i det opløste organiske kulstof. De er havets mest talrige organismer (1 million pr milliliter hav-

vand), og da opløst organisk kulstof findes overalt i vandet, findes bakterier også i hele vandsøjlen.

Opløst organisk kulstof består af mange typer kulstof, hvoraf kun ca. 20 % er let-omsætteligt for bakterierne. Det betyder, at de fleste bakterier i det dybe vand er mindre aktive end dem i overfladen, hvor der er mere let-omsætteligt opløst organisk kulstof. Langt det meste af det svært-omsættelige kulstof vil med tiden blive ført ned på havets bund. I Nordatlanten har man anslået, at opløst organisk kulstof kan opholde sig i 4000-6000 år før det bliver nedbrudt eller begravet i havbunden, dvs. det er så godt som trukket ud af jordens CO₂-regnskab.

Ud fra vores målinger af vandsøjlen kunne vi bl.a. se, at en øget algevækst ved overfladen gav en højere koncentration af opløst organisk kulstof, og dermed en stigning i antallet af både bakterier og små encellede dyr, som lever af at æde bakterier. Vi så altså en høj aktivitet hos mikroorganismer og dermed en svækkelse af den biologiske pumpe.

Bakteriernes rolle i forhold til den biologiske pumpe er dog langt fra entydig. Langt de fleste er afhængige af organisk kulstof som energikilde (man siger de er heterotrofe), og de står samlet set for den stør-



Havets planteplankton-mængde (vist som koncentrationen af klorofyl-a) fotograferet fra satellit i maj, 2012. Ekspeditionens fokusområde i Nordatlanten er indrammet af cirkel.

Kilde: NASA OceanColor



Det internationale samarbejde EURO-BASIN går ud på at opnå en bedre forståelse for Nordatlantens økosystemer og samspillet med klimaændringer. Ekspeditionen omtalt i artiklen foregik om bord på det næsten 100 m lange tyske forsknings-skib R.V. Meteor, og var den første af flere planlagte EURO-BASIN-ekspeditioner. Da vi var ude allerede fra marts måned, som er en af de mest stormfulde, mødte vi flere gange op til 6 m høje bølger, som kunne gøre det vanskeligt at arbejde, så forsøgsplanen måtte planlægges fra dag til dag afhængigt af vejret.

Foto: www.subseaworldnews.com

ste forbrænding af organisk materiale til CO_2 i havet. Derfor er de overordnet med til at modvirke en op-hobning af kulstof i havet. På den anden side dan-ner bakterierne hele grundlaget for, at der overho-vedet kan være så meget liv i havet, da de er et vig-tigt led i omsætningen af næringsalte, som er for-sætning for, at algerne kan vokse år efter år.

Ligeledes kan de i kraft af deres evne til at udnytte det opløste organiske kulstof, sende energi videre op gennem fødekæden og således danne grundlag for liv dybt nede i vandet, hvor algerne ikke kan vokse.

Kan vi forstærke den biologiske pumpe?

Ligesom man på land forsøger at binde CO_2 ved at plante træer, har man i havet eksperimenteret med at forstærke den biologisk pumpe ved at øge alger-nes vækst. En måde at gøre det på er ved at gøde havet. For at kunne lave fotosyntese behøver algerne flere forskellige næringsalte, som de optager fra havvandet. Ved stor algenvækst bliver næringsaltene brugt hurtigere end mikroorganismene kan nå at omsætte dem, hvilket begrænser eller helt stopper algenvæksten.

I Nordatlanten er det næringsstoffet kvælstof, som er afgørende for hvor meget planktonalgerne

kan vokse. Ved Antarktis har det i mange havom-råder derimod vist sig at være jern, der er det begrænsende næringsstof. Ved at gøde havet med jern i nogle områder i Antarktis, har man kunnet understøtte en øget produktion hos algerne, og derved forøge optaget af kulstof fra atmosfæren og stimulere den biologiske pumpe. Det er imid-ler tid ikke uproblematisk at manipulere et økosy-tem. At tilføre ekstra næringsstoffer kan føre til opblomstring af giftige alger eller af alger med ringe fødekvalitet, hvilket vil være dårligt for øko-systemet. Og selvom havet måske ser relativt ens ud fra overfladen, uanset hvor man befinder sig i verden, så har vi at gøre med et yderst mangfol-digt økosystem, som derfor kan reagere uforudsi-geligt.

At forstå havets rolle i den globale kulstofbalance er et kæmpe puslespil. Kun med store projekter som EURO-BASIN får vi mulighed for at sætte vores viden sammen med andre forskeres, og får dermed en enestående mulighed for at samle de manglende brikker i Nordatlantens økosystem. Denne viden er i høj grad nødvendig for at vurdere styrken af den biologiske pumpe og om tiltag, som fx tilsætning af næringsalte, rent faktisk kan få havet til at for-sætte med at rydde op efter os.

Læs mere

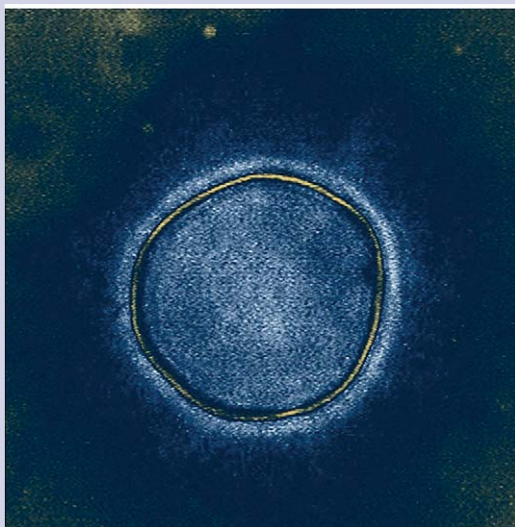
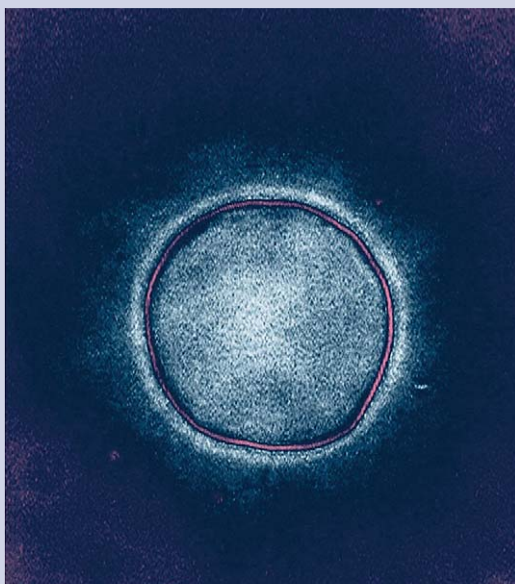
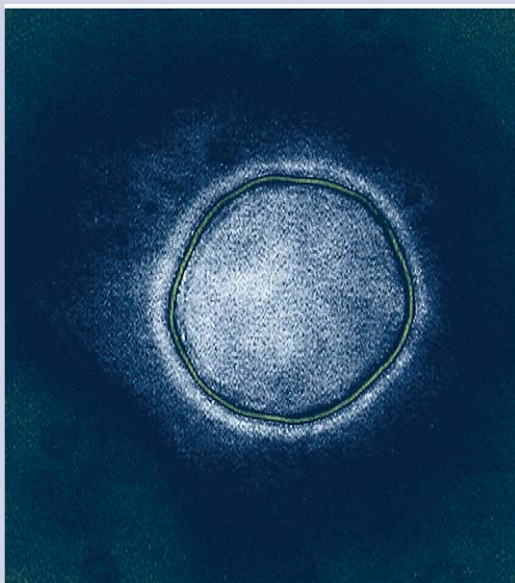
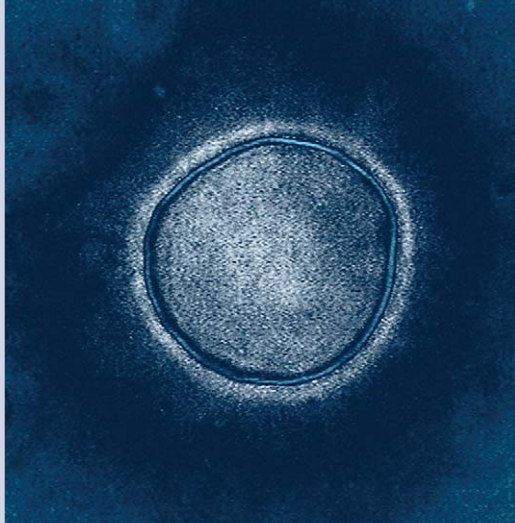
Riisgaard K, Agersted MD, Jung-Madsen S, Swalethorp R & Nielsen TG (2011). Et hav i for- andring. Aktuell Naturvi- denskab 2: 10-13.

Olesen, M. (2007). Den Biologiske Pumpe. Aktuell Naturvidenskab 3: 12-15.

Smetacek, V. og 29 andre forfattere (2012). Deep carbon export from a Southern Ocean iron-fertilized diatom bloom. Nature 487: 313-319.

På ekspeditionens hjem- meside: <http://deepconvectioncruise.wordpress.com/> kan man bl.a. kan se udviklingen i klorofyl fra satellitbilleder i løbet af toget.

Se animation af kulstof- kredsløbet: www.youtube.com/watch?v=OByqdUHWERk



om ion-

Alle celler er begrænset af en cellemembran, som omslutter cellen og sikrer, at cellens indre er beskyttet fra omgivelserne. Forskellige celletyper har forskellige slags membraner, men fælles for dem alle er, at de er opbygget af et dobbeltlag af lipidmolekyler, hvori der er indbygget en lang række forskellige proteiner.

Proteinerne i membranen er cellens arbejdsheste. De udfører de mange forskellige funktioner, som er nødvendige for, at cellen kan opretholde sine livsfunktioner. Nogle proteiner transporterer næringsstoffer ind i cellen og affaldsstoffer ud. Andre virker som en slags antenner, der kan opfange signaler eller sende signaler mellem cellen og dens omgivelser.

Nogle af de allervigtigste membranproteiner er ionpumperne, som sikrer og kontrollerer små ladede molekylers transport over cellemembranen. Ionpumperne sørger for, at cellen opretholder det rette kemiske miljø inde i og opbygger de nødvendige elektriske felter, der kan virke som drivkraft for cellens funktioner, fx for nervecellers aktivitet.

Én af disse pumper er natrium-kalium (Na^+/K^+) pumpen, som blev opdaget af den danske forsker Jens Chr. Skou i 1957, en opdagelse han blev hædret for med Nobelprisen i kemi i 1997.

Na^+/K^+ -pumpen virker både som en ionpumpe og som et enzym, dvs. en katalysator, som omsætter cellens kemiske brændstof ATP (adenosin-trifosfat) til den energi, der medgår til at pumpe tre natriumioner (Na^+) ud af cellen og to kaliumioner (K^+) ind i cellen for hvert ATP-molekyle, der hydrolyseres. Na^+/K^+ -pumpen findes udelukkende hos dyreceller, og den er livsvigtig for opretholdelse af et konstant volumen. Hvis vand trænger ind i cellen, og den

Fluktuerende liposom
(diameter = 35 μm) med
aktive Na^+/K^+ -pumper.
Fluktuationerne skyldes
Brownske bevægelser.

Grafik: Jonas Drotner Mouritsen

Membranen sladrer pumpers funktion

Na⁺/K⁺-pumpen findes i alle cellemembraner fra dyr og holder styr på fordelingen af natrium og kalium på hver side af membranen. Ny forskning viser, at når Na⁺/K⁺-pumpen pumper, påvirker den membranen på en måde, som sladrer om detaljer i pumpens funktion.

der ved svulmer, sprænges cellen, da den "bløde" cellemembran ikke kan modstå et overtryk. Dette er i modsætning til planteceller, der udenpå cellemembranen har en cellevæg af cellulose, som kan modstå meget store overtryk i cellen.

Kommunikation mellem protein og membran

En vigtig bestanddel af membranen er lipider, der er såkaldt amfifile molekyler, dvs. at de i den ene ende tiltrækkes af vand (de er hydrofile), og i den anden ende er de som olie, der skyr vand (de er hydrofobe). I vand slutter de sig derfor helt af sig selv sammen i lipiddobbeltlag, som kan danne lukkede kugleskaller med vand på begge sider. Sådanne lukkede skaller kaldes liposomer. Et liposom er den simpleste model af en celle, som dog ikke kan udføre andre funktioner end at holde det indre adskilt fra det ydre.

Fordi det indre af lipiddobbeltlaget er som olie, er det meget vanskeligt for specielt vandopløselige stoffer, som for eksempel uorganiske salte med natrium- eller kaliumioner, at trænge gennem laget.

Af samme grund skal proteiner og specielt ionkanaler og ionpumper have en helt særlig opbygning for at kunne befinde sig indlejret i membraner: de skal have et midterstykke, som er olieagtigt, men med ender, som er opløselige i vand. Vi siger, at membranproteinerne er hydrofobisk tilpasset lipidmembranen.

Denne hydrofobe tilpasning udgør en slags mekanisme, med hvilken membranen og de indlejrede proteiner gensidig kan påvirke hinanden. Vi taler om lipid-proteinvekselvirkninger. Lipid-proteinvekselvirkninger er af stor betydning for proteinernes

funktioner. På den ene side kan ændringer i lipidmembranen, der for eksempel skyldes kemiske stoffer (fx visse lægemiddelstoffer) eller ydre påvirkninger (fx stress og surhedsgrad), medvirke til, at proteinets funktion påvirkes. På den anden side kan proteinet, mens det udfører sine funktioner, påvirke lipidmembranen, for eksempel hvis proteinet ændrer form eller hydrofob tilpasning.

Modeller viser vejen

I et forsøg på at afklare, hvordan proteiner og lipidmembraner gensidigt påvirker hinanden, bruger forskerne forskellige modelsystemer, som er tilstrækkeligt simple til, at man kan foretage kvantitative målinger af lipid-proteinvekselvirkningerne, men samtidig tilstrækkeligt realistiske til at de kan lede til ny indsigt. Et sådant lipid-protein modelsystem er liposomer opbygget af nogle få forskellige slags lipidmolekyler, der kan danne liposomer. I disse liposomer indbygges så proteiner, som oprenses fra levende celler.

Det er muligt at oprense Na⁺/K⁺-pumper fra forskellige celle- og vævstyper. Her benytter vi os af, at naturen allerede har opkoncentreret Na⁺/K⁺-pumper i visse væv og organer.

Det gælder fx hjerne og nyre, der er meget rige på Na⁺/K⁺-pumper (meget aktive organer). Vi bruger også saltkirtler fra pighajer, der hjælper hajen med at komme af med det NaCl, den indtager, når den har spist. Saltkirtlerne er på størrelse med en lillefinger og indeholder næsten 50 % Na⁺/K⁺-pumper. Disse proteiner kan indbygges i små liposomer bestående af to slags lipidmolekyler, hvoraf den ene slags er kolesterol, som er en vigtig komponent i alle cellemembraner. Liposomerne er ca. 100 nanometer i diameter, og man kan ved biokemiske analyser

Forfattere



Hélène Bouvrais, phd og postdoc, Institut de

Génétique et Développement de Rennes (IGDR), Rennes, Frankrig
helene.bouvrais@univ-rennes1.fr



Flemming Cornelius, dr. scient. og lektor i biofysik,

Institut for Biomedicin-Fysiologi og Biofysik, Aarhus Universitet
fc@biophys.au.dk



John H. Ipsen, phd og lektor i fysik ved Institut for Fysik,

Kemi og Farmaci, Syddansk Universitet
ipsen@memphys.sdu.dk



Ole G. Mouritsen, dr. scient. og professor i biofysik,

Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, Syddansk Universitet.
ogm@memphys.sdu.dk

viser, at pumperne forsat er enzymatisk aktive i liposomerne. Disse små liposomer, som er meget mindre end, hvad man kan se i et lysmikroskop, kan nu tvinges til at smelte sammen i meget store liposomer ved at udsætte dem for svingende elektriske felter. Hermed dannes kæmpestore liposomer, som typisk er 20-40 µm i diameter og derfor synlige i et lysmikroskop.

Småt og hele tiden i bevægelse

Problemet med at studere ting, som er meget små, fx molekyler og ultratynde lipidmembraner, er, at de hele tiden er i bevægelse. Molekylerne udfører, hvad vi kalder Brownske bevægelser, som skyldes, at vandmolekyler hele tiden støder ind i dem, så proteinerne kommer til at opføre en tilfældig dans. Desuden er lipidmembraner ofte så bløde, at de også kommer til at udføre en slags Brownske bevægelser. De ændrer simpelthen form på en tilfældig måde, når vandmolekylerne støder ind i dem. Disse tilfældige bevægelser er mere voldsomme, jo højere temperaturen er.

Det kan derfor synes som en stor ulempe for nærmere studier, at membraner udfører disse uregelmæssige, såkaldt termiske bevægelser. Denne ulempe kan imidlertid vendes til en fordel, idet man kan udnytte de termiske bevægelser til at lære noget om membranernes mekaniske egenskaber.

Ved at analysere, hvorledes liposomerne ændrer form gennem tiden, kan man fx bestemme membranens stivhed. Stivheden er et udtryk for, hvor meget energi, der skal til for at deformere membranen. Liposomer, der fluktuerer meget i form, er

bløde, hvorimod liposomer, som fluktuerer meget lidt og næsten er perfekt kugleformede hele tiden, er stive.

Vi skal nu se på, hvordan man ved analyse af liposomers termiske fluktuationer kan lære noget om, hvordan Na^+/K^+ -pumper påvirker membranen, mens de pumper ioner over membranen. Desuden skal vi se, at denne analyse afslører, at membranerne sladrer om pumperne. Vi kan helt uden at studere pumperne direkte alligevel lære om deres funktion ved at lave eksperimenter, der afslører, hvordan aktive pumper påvirker membranens stivhed og fluktuationsmønstre i tid og rum.

Hvad membranernes fluktuationer fortæller

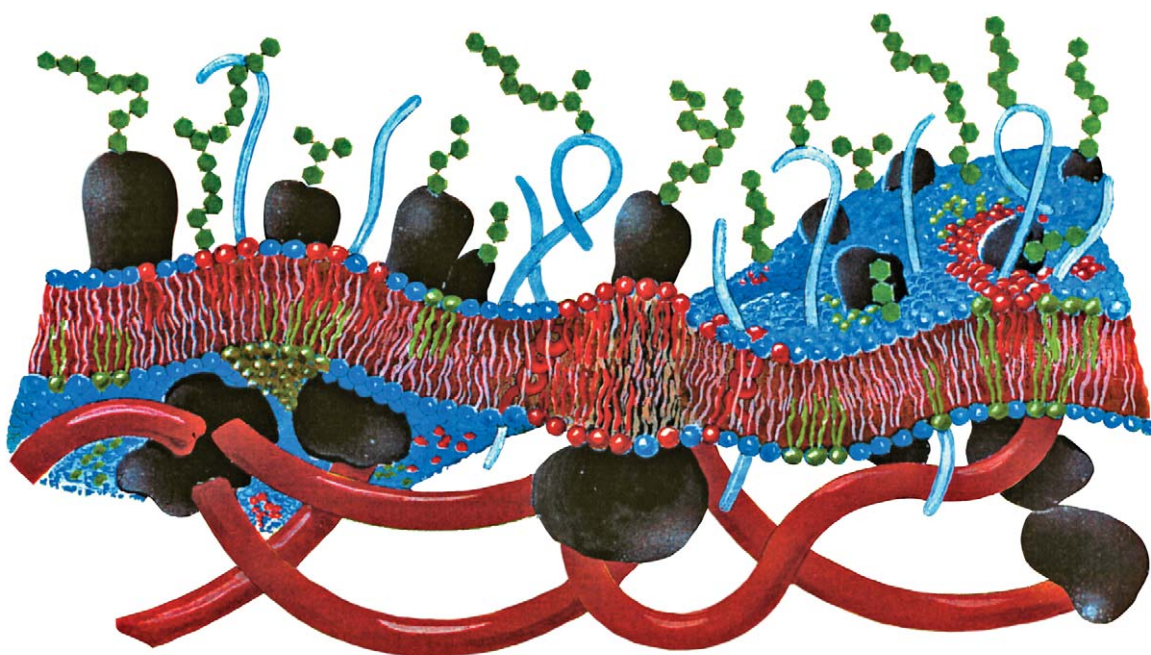
Eksperimenterne er i princippet simple, men dog teknisk meget krævende både i laboratoriet og specielt i den efterfølgende matematiske analyse af de eksperimentelle data. For at lykkes kræver et sådant projekt et tæt samarbejde mellem på den ene side teoretiske fysikere og på den anden side eksperimentelle fysisk-kemikere og biokemikere med forstand på enzymers funktion. Fremgangsmåden omfatter sammenlignende studier af

- 1 liposomer uden pumper,
- 2 liposomer med pumper, som ikke er aktive, dvs. uden ATP tilstede, og
- 3 liposomer med pumper, som er aktive pga. tilstedeværelsen af ATP.

Det første resultat viser, at sammenligner man membraner helt uden pumper med membraner, som har inaktive pumper, så er der ingen forskel på

Cellmembran

Cellmembraner består af forskellige fosfolipider (runde hoveder med to haler) arrangeret i et dobbeltlag, polysaccharider (grønne grene) og membranproteiner (sorte klumper). Cellmembraner indeholder typisk tusinder af forskellige slags lipid- og proteinmolekyler. På indersiden af membranen findes et polymerskelet, som giver cellen form (røde slanger).



membranernes fluktuationer. Det betyder, at ved de meget små koncentrationer af pumper, vi benytter, er membranens stivhed ikke ændret. Men så snart pumperne aktiveres ved at tilsætte ATP, ændrer liposomets fluktuationer sig. Ændringen kan ikke observeres med det blotte øje i mikroskopet, men den matematiske analyse viser det tydeligt: membranerne bliver omkring 30 % blødere.

Tilsyneladende har den aktive pumpe, mens den pumper ioner hen over membranen, en effekt på membranen, muligvis fordi Na^+/K^+ -pumpen ændrer form. Disse formændringer vil så mekanisk påvirke lipidmolekylerne i membranen, som derved bliver mere uordnet og blød.

Samtidig sker der noget meget overraskende med det tidslige forløb af membranfluktuationerne. De bliver meget stærkere korreleret, dvs. membranen synes at have en hukommelse gennem længere tid om, hvad den foretog sig tidligere. Sådanne tidsmæssige korrelationer kan analyseres matematisk og føre til tal for, hvad der er karakteristiske tider, såkaldt tidskonstanter, for det observerede fænomen. Disse tidskonstanter er normalt afhængige af detaljer, for eksempel liposomets størrelse og graden af indre spændinger i liposomet. Men det har vist sig, at der i analysen af mange forskellige liposomer med indbyggede aktive pumper fremkommer en tidskonstant, som er robust og ikke afhænger af detaljer ved det aktuelle liposom.

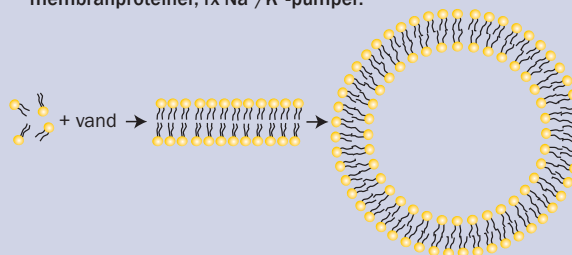
Den fundne tidskonstant er omkring 0,5 sekund. Det er lidt af et mirakel, at det praktisk har vist sig muligt at isolere en sådan robust tidsskala fra et så komplekst eksperiment, der her er tale om. Spørgsmålet er så, hvad de 0,5 sekunder fortæller os.

Membranen sladrer

For at svare på det spørgsmål skal vi have fat i den viden, som biokemikere, der har arbejdet med Na^+/K^+ -pumpen gennem mange år, har erfaret ved analyse af pumpen som et enzym.

Deres arbejde viser, at det langsomste, og dermed tidsbegrænsende trin i den reaktionscyklus, som pumpen gennemgår, omfatter afgivelsen af en fosfatgruppe. Dette trin kan man ved biokemiske forsøg vise er karakteriseret af en tidsskala på omkring 0,4 sekund, dvs. meget tæt på det, som membranfluktuationerne rapporterer om. Det er derfor nær-

Lipidmolekyler er amfifile molekyler, som har vandopløselige hoveder (runde kugler) og i dette tilfælde to fedtopløselige haler (fedtsyrer). Lipider i vand danner spontant lipiddobbeltlag, som er membraner, der kun er ca. 5nm tykke. Dobbeltlagene lukker omkring sig selv og kan danne såkaldte vesikler eller liposomer, der er små kugleskaller af lipider med vand på begge sider. I disse skaller kan man indbygge funktionelle membranproteiner, fx Na^+/K^+ -pumper.

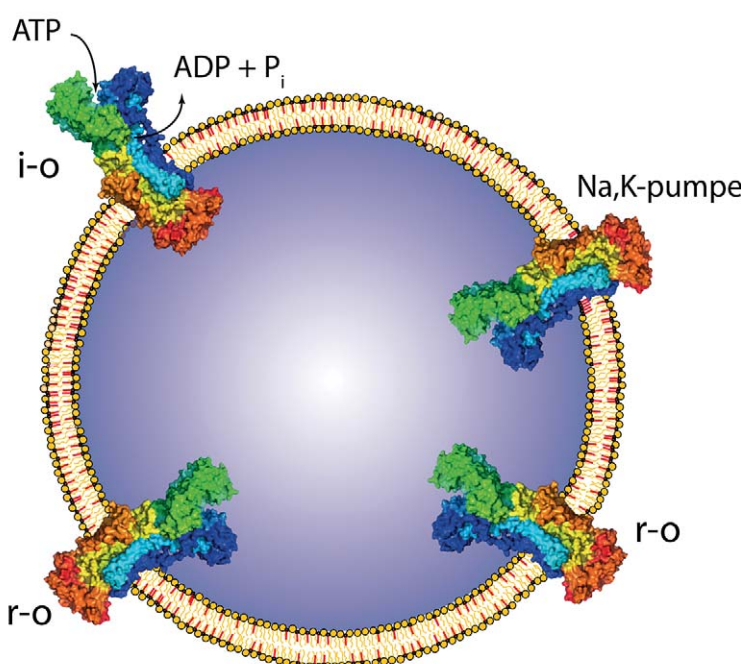


Liposom-med-pumper

Skitse af liposom med indbyggede Na^+/K^+ -pumper.

Liposomets membran består af fosfolipider (gul) og kolesterol (rød). Pumpen kan enten være orienteret som i cellen med ydersiden udad (right-side out, r-o) eller modsat (inside out, i-o).

Ved at tilsætte ATP (adenosin-trifosfat) til ydermediet aktiveres alene i-o pumperne, hvor bindingsstedet for ATP er eksponeret til ydersiden. ATP nedbrydes herved til ADP (adenosin-difosfat) og uorganisk fosfor (P_i). Hvis der er Mg^{2+} , Na^+ og K^+ til stede, vil i-o pumperne transportere Na^+ ind i liposomet og K^+ ud af liposomet, modsat i cellen. ATP er et hydrofilt molekyle, og det kan derfor ikke trænge ind i liposomet.





ENERGI TIL LIVET

Gratis inspirationsdag for gymnasielærere

Få ny inspiration til tværfaglige undervisningsforløb, når Det Natur- og Biovidenskabelige og Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet på Københavns Universitet afholder Gymnasielærerdag 2013 - en tværfaglig inspirationsdag for undervisere på landets almene gymnasier, htx og hf. Temaet er "Energi til livet".

Inspirationsdagen består af en række spændende foredrag om den nyeste forskning på de to fakulteter efterfulgt af workshops, der kan give dig inspiration til din undervisning.

Inspirationsdagen henvender sig til undervisere i naturvidenskabelige og samfundsvidenskabelige fag samt undervisere med interesse i AT.

Gymnasielærerdagen afholdes fredag den 1. februar 2013 på Københavns Universitet.

På www.inspirationsdag.ku.dk kan du se dagens program og tilmelde dig. Tilmelding sker efter først til mølle-princippet.

Deltagelse er gratis og inklusive frokost og en afsluttende middag.



liggende at slutte, at netop dette trin, som også fra strukturelle studier vides at omfatte en ændring af pumpens molekylære form, er det, der er ansvarlig for ændringer i membranens fluktuationer.

Hermed har vi lært noget om en molekylær egenskab ved et komplekst molekyle, dvs. noget der karakteriserer den mikroskopiske verden, ved med biofysiske teknikker at studere fluktuationer og mekanik af en membran, dvs. noget, der karakteriserer den makroskopiske verden.

Nu kunne man så sige, at vi har fundet et resultat, man kendte i forvejen. Men perspektiverne af dette resultat er selvfølgelig, at man på denne baggrund kan gå videre og studere Na^+/K^+ -pumpen med biofysiske teknikker under omstændigheder, hvor man ikke kender resultatet, fx for pumper, som er defekte (ved visse sygdomme), eller som er påvirket af lægemiddelstoffer (fx kemoterapeutiske stoffer). Endelig foreligger der den mulighed at bruge membranfluktuationer til at studere funktionen af membranproteiner, om hvis funktion vi endnu ingen viden har. ■



Læs mere

Bouvrais H, F Cornelius, JH Ipsen & OG Mouritsen. 2012. Intrinsic reaction-cycle time scale of Na^+/K^+ -ATPase manifests itself in the lipid-protein interactions of non-equilibrium membranes. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 109, 18442-18446.

Mikroskopibilleder af et stort liposom (diameter = $42\mu\text{m}$), som består af et lipiddobbeltlag, hvori der er indbygget Na^+/K^+ -pumper.

Liposomet er observeret på seks forskellige tidspunkter med 40 mikrosekunders interval. Da lipiddobbeltlaget kun er 5nm tykt, kan man ikke se selve laget, men kun kontrasten af omridset. Tilsvarende er proteinerne alt for små til at kunne ses i et lysmikroskop.

Liposomet fluktuerer i form på grund af Brownske bevægelser, som skyldes, at vandmolekylerne, som diffunderer tilfældigt rundt, bestandig bumper ind i lipidmembranen. Når pumperne bliver aktive ved tilstedeværelse af ATP, forstærkes fluktuationerne, som kan måles ved detaljerede analyser af liposomets omrids, og hvordan det varierer gennem tiden.



**Learning seriously
affects your brain**
www.aau.dk

BLIV INGENIØR OG GØR EN FORSKEL

Ingeniørvidenskaberne sætter verden i bevægelse. Skaber velstand og fremgang og skubber til vores forståelse af, hvad der er muligt. Ingeniører hjælper i dag med at takle vor tids største udfordringer; klimaforandringer, sundhed, manglen på ressourcer og meget mere.

En virkelighedsnær studieform

Som ingeniør kan du skubbe til grænserne - også i studietiden. Grunden er AAU's unikke studieform, hvor studerende samarbejder om at løse et konk-

ret problem fra den virkelige verden. Ikke bare i en uge eller to, men igennem et halvt år ad gangen.

Det er en studieform, der giver selvudvikling, motivation og en mulighed for at producere løsninger og ny viden, der kan flytte noget.

Se dine uddannelsesmuligheder på :

www.studieguide.aau.dk



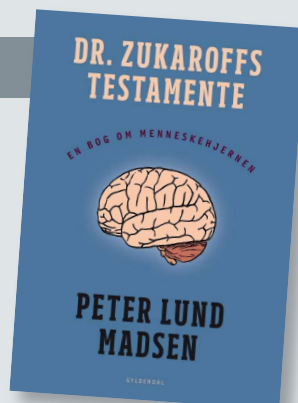
**Teamwork seriously
affects your brain**
www.aau.dk

BOGANMELDELSE

UDGIVELSER

Hjernemadsens hjernebog

Anmeldt af Jens Olaf Pepke Pedersen, seniorforsker, DTU Space, jopp@space.dtu.dk



Hvis ikke det var en bog, så ville jeg have skrevet, at det var en underlig fisk, som Peter Lund Madsen – a.k.a. Hjernemadsen – har skabt med værket "Dr. Zukaroffs Testamente". Alene den mystiske titel ville normalt være nok til få mig til at gå langt udenom den. Det minder lidt for meget om De-fem-bøgerne (og ja, den lange serie indeholder faktisk også en bog om "De fem og det skjulte testamente"), men heldigvis er bogen forsynet med en forbrugeroplysning i form af undertitlen "En bog om menneskehjernen". Det er dog en noget misvisende oplysning, for bogen er meget mere end det. Det er også en bog om livets opståen og udvikling, om menneskets historie, om Peter Lund Madsens historie og endda også Universets historie (omend gennemgangen er ultrakort). Det hele udstyret med flotte tegninger, videnskabelige referencer og et større noteapparat – endda med nye illustrationer i noterne. Desuden er det også en spændingsroman, hvor den mystiske dr. Zukaroff allerede i første kapitel trænger sig ind i Lund Madsens tilværelse for at tilbyde sin assistance med at skrive den bog, som Lund Madsen forgæves har tumlet med at få styr på.

Fakta og fiktion

Det fører til en række møder, som regel centreret omkring mad eller kager, og hvor mødestedet skal understrege en pointe i bogen, mens bogens to hovedpersoner udveksler manuskripter og afprøver den populærvidenskabelige fremstilling for hinanden. Symbolikken er til tider er lidt for tyk, men blandingen af fakta og fiktion er et formidlingsteknisk smart trick, og man fornemmer også en tydelig inspiration fra Jostein Gaarders "Sofies Verden", selvom det i starten ikke forekommer særlig troværdigt at to tydeligvis meget intelligente mennesker kan bruge en hel aften på at gennemgå en enkel tekst på relativt få sider. Alligevel er det svært ikke at blive nysgerrig efter at få opklaret historien om den hemmelighedsfulde dr. Zukaroff, der plages både af sin fortid som forsker for det tidligere DDR-styre og af sit svigtende helbred, og det tilfører bogen et elementært spændingsmoment. Dermed lykkes det for Lund Madsen at få smuglet den ellers ret kedsommelige gennemgang af hvilke funktioner, der hører hjemme i hvilke dele af hjernen, ind i teksten. Til gengæld belønnes læseren herefter med gode og interessante beskrivelser af alle de komplekse opgaver, hjernen kan håndtere, fx hvordan sanseindtryk omsæt-

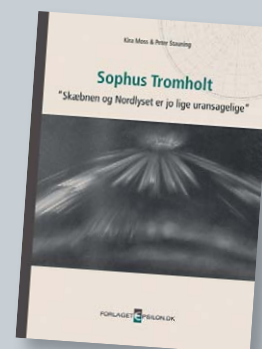
tes og især sorteres – der er konstant enorme mængder unødvendige informationer, som skal filtreres fra, og det skal løbende vurderes, om der er noget, som kræver vores opmærksomhed, eller om koncentrationen skal reserveres til vigtigere opgaver. Undervejs får vi også lige gjort op med den myte, at vi kun udnytter en lille del af vores hjernekapacitet, for naturen rutter ikke med ressourcerne, så havde vi kunnet klare os med en mindre hjerne, var det også blevet sådan.

Stenalderhjernen

Peter Lund Madsen skriver veloplagt og underholdende, og i gennemgangen af udviklingen frem til det tænkende menneske – Homo sapiens – får han også lige indføjet, at vores forgænger Homo heidelbergensis formodentlig ville have fungeret fint i et socialt samvær med nutidens mennesker, og i hvert fald uden problemer kunne deltage i mange tv-programmer og opnå stor berømmelse. På mange måder har forlægget til vores hjerne ikke ændret sig meget de sidste 100.000 år, og derfor er vores stenalderhjerne konstrueret til en tid, der som udgangspunkt var fyldt med farer og trusler, og hvor hjernen altid måtte være på vagt og vælge den bekymrede, angstfyldte tilgang til sagen. I dagens Danmark, hvor der ikke er ret meget at være bange for, opstår der derfor efter Lund Madsens mening et overskud af frygt og bekymring, og derfor har vi et stort behov for konstant at høre om potentielle katastrofer og truende kriser, der kan ramme os.

Bogen er bedst, hvor Lund Madsen bevæger sig ud over, hvad der nok er fuldt videnskabeligt belæg for, og f.eks. giver sig til at spekulere over, hvordan forskellige dyr opfatter (eller ikke opfatter) verden, om menneskets frie vilje, den kulturelle udvikling og vores konstante stræben efter viden. Og ikke mindst skræmmeligheden, hvor vi har elimineret alle farer, etableret det verdensomspændende socialdemokratiske verdenssamfund, og alt styres af totalitær fornuft. Heldigvis er det umuligt at yde fuld retfærdighed til bogen på denne begrænsede plads, men den skal i hvert fald have den ultimative ros, at man efter endt læsning får lyst til at læse bogen en gang til.

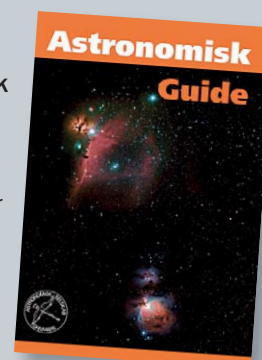
Peter Lund Madsen: *Dr. Zukaroffs Testamente*, Gyldendal, 549 sider, 350 kr.



Sophus Tromholt - skæbnen og Nordlyset er jo lige uransagelige

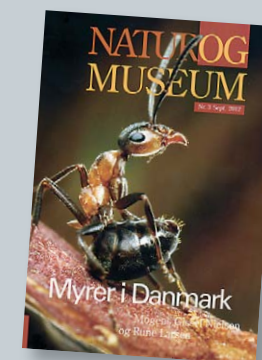
Sophus Tromholt var en unik dansk nordlysforsker, som levede fra 1851-1896. Tromholt er dog i store træk glemt af eftertiden, men det forsøger denne bog nu at råde bod på ved at give et indblik i et spændende liv og forskningsfelt.

Kira Moss og Peter Stauning: *Sophus Tromholt - skæbnen og Nordlyset er jo lige uransagelige*. Forlaget Epsilon 2012. Ca. 200 sider, 295,- kr.



Astronomisk Guide

Astronomisk Selskab har i mere end 10 år udgivet en Astronomisk Guide med oversigt over astronomiske emner og aktiviteter landet over. I 2012 er der også udgivet en trykt udgave af guiden. Det er Lone Bruun, Michael Quaade og Jesper Grønne, der har redigeret den trykte udgave. *Astronomisk Selskab 2012, 74 sider. Gratis – uddeles på biblioteker m.m. Se den på www.astronomisk.dk*



Myrer i Danmark

Hæftet om myrer i Danmark er fuldt af overraskende viden om de små dyr for den, der ikke på forhånd kender meget til myrer og deres levevis.

Mogens Gissel Nielsen og Rune Larsen. *Natur og Museum 51. årg. nr. 3, 2012. 36 sider, 60,- kr.*

Aktuel NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

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

Styregruppe

- **Bo T. Andersen**, afdelingsleder, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Joachim Groth**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Tine Kjær Hassager**, kommunikationschef, Danmarks Tekniske Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Carsten Nielsen**, videnskabsjournalist, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- **Jens Christian Pedersen**, kommunikationschef, AU Kommunikation, Science and Technology, Aarhus Universitet

Redaktionsgruppe

- **Mette Christina Møller Andersen**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Michael Bjerring Christiansen**, Aarhus Statsgymnasium
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Henrik Gautier**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Niels Hansen**, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Thomas Johansen**, Københavns Universitet
- **Carsten Rabæk Kjaer**, Aktuel Naturvidenskab
- **Carsten Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Hans Ramløv**, Roskilde Universitet
- **Line Reeh**, DTU AQUA, Danmarks Tekniske 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

Kommunikationschef Jens Chr. Pedersen

Redaktion

Redaktør Jørgen Dahlgaard og redaktør 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 2013

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

Abonnementsservice

Portoservice, Postboks 9490, 9490 Pandrup

Telefonnr.: 70 25 55 12

e-post: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Eller via hjemmesiden: www.aktuelnaturvidenskab.dk

Layout og illustration: Britta Munter

Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S

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

Oplag: 8.800



Omslagsfoto: En kunstners gengivelse af en jordlignende exoplanet, som blev opdaget med dansk hjælp i 2005. Overfladen formodes at være klippefyldt og/eller isdækket. Illustration: ESO.

Fagpanel

Aktuel Naturvidenskab samarbejder med en bred skare af fagfolk, der stiller deres faglige viden til rådighed for bladet.

- **Flemming Besenbacher**, professor, Interdisciplinært Nanoscience Center (iNANO), Aarhus Universitet
- **Claus Hviid Christensen**, senior manager, Innovationscenter, Dong Energy
- **Jesper Dahlgaard, ph.d.**, Aarhus Universitetshospital og Psykologisk Institut, Aarhus Universitet.
- **Ture Damhus**, Kemiker ved Novozymes samt formand for Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg
- **Søren B. F. Dorch**, astrofysiker ph.d., Københavns Universitetsbibliotek, adjungeret lektor ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet
- **Michael Drewsen**, professor, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet
- **Claus Emmeche**, lektor, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.
- **Tom Fenchel**, professor emeritus, Marinbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet
- **Jens Morten Hansen**, statsgeolog ved GEUS samt adjungeret professor i naturfilosofi ved Københavns Universitet
- **Vagn Lundsgaard Hansen**, professor, Inst. for matematik, Danmarks Tekniske Universitet
- **Peter K.A. Jensen**, adm. overlæge, Klinisk genetisk Afdeling, Aarhus Universitetshospital
- **Mikkel Willum Johansen**, adjunkt i de matematiske fags videnskabsteori, Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet
- **Anne Mette K. Jørgensen**, leder af Danmarks Klimacenter, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Peter C. Kjærgaard**, professor, Institut for Kultur og Samfund, Aarhus Universitet
- **Gunnar Larsen**, geolog, NIRAS.
- **Bent Lauge Madsen**, biolog (pensioneret fra Miljøministeriet).
- **Sebastian H. Mernild**, Klima- og Polarforsker, Los Alamos National Laboratory, New Mexico, USA
- **Ole G. Mouritsen**, professor, Institut for Fysik, Syddansk Universitet.
- **Bent Nielsen**, gymnasielektor, Københavns VUC.
- **Jens Olaf Pepke Pedersen**, seniorforsker, DTU Space.
- **Kaj Sand-Jensen**, professor, Sektion for Ferskvandsbiologi, Biologisk Institut, Københavns Universitet.
- **Theresa S. S. Schilhab**, forsker, Forskningscentret Gnosis, Aarhus Universitet
- **Klaus Seiersen**, ph.d., Aarhus Sygehus, Afd. for Medicinsk Fysik.
- **Torben Lund Skovhus**, konsulent, ph.d., Teknologisk Institut.
- **Carl-Erik Sølberg**, civilingeniør, Institut for Fysik, Aalborg Universitet.

GRUNDFOS



GAVE med viden



Giv et abonnement på bladet

Aktuel Naturvidenskab som gave.

Pris kun 294,- kr. for 6 numre (inklusive moms og porto, udland: plus porto).

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

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
abo@aktuelnaturvidenskab.dk
eller på tlf. 70 25 55 12.

Husk at anføre om det er til en gave og husk også at skrive evt. anden betalingsadresse.

Det er også muligt at bestille enkelte numre af Aktuel Naturvidenskab som klassesæt

Abonnementsservice

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

Kontakt abonnementsservice på

Telefon: 70 25 55 12

Mandag-torsdag kl. 8-16, fredag kl. 8-14.

e-post: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

Viden på vej til gymnasier

Museum på hjul

Nyt initiativ fra Statens Naturhistoriske Museum i København skal bringe gymnasieelever fra hele landet i kontakt med museets samlinger. En bus fyldt med autentiske genstande drager ud i landet og besøger gymnasierne. Projektet *Viden på vej* består populært sagt i at lade museet komme til gymnasierne i stedet for at gymnasierne skal komme til museet. I 2011 modtog mere end 9000 gymnasieelever undervisning på Statens Naturhistoriske Museum, hvoraf hele 60 % kom fra Region Hovedstaden. For gymnasier i fx Vestjylland er det en noget større praktisk og økonomisk udfordring at benytte sig af museets tilbud, men det skal det nye projekt nu råde bod på. Det er ambitionen, at yderligere 4.500 gymnasieelever fra hele landet hvert år skal have glæde af de muligheder museet byder på via det nye projekt.

Viden på vej indeholder forskellige delelementer, der, fra gymnasiernes side, kan vælges til eller fra efter ønsker og behov. Et af hovedemnerne er Darwins evolutionsteori, og omdrejningspunktet for projektet er den naturvidenskabelige metode, elevinvolverende undervisning, brug af originale genstande og foredrag af unge naturvidenskabelige forskere fra Statens Naturhistoriske Museum. Ud over undervisning og foredrag af unge forskere omfatter *Viden på vej* også arrangementer og kurser for gymnasielærerne.

Projektet er støttet med over 4 millioner kroner af VILLUM FONDEN og kommer til at løbe over tre år.

Menneskedyret

En anden nyhed fra Statens Naturhistoriske Museum henvendt til gymnasierne er *Menneskedyret*, en digitalisering af museets populære undervisningsforløb *Menneskets evolution*. Det er et interaktivt 3D-program, hvor man måler sig frem til ligheder og forskelle mellem mennesket og dets nærmeste nulevende og uddøde slægtninge.

I *Menneskedyret* har eleverne mulighed for at nærstudere, udforske og opmåle 3D-scanninger af fire forskellige kranier fra mennesket og chimpansen samt to fortidsmennesker *Homo erectus* og *Australopithecus afarensis*. Kranierne er unikke 3D-scanninger, og i programmet kan eleverne prøve kræfter med forskellige måleopgaver.

Såvel kranier som opgaver er nøje udvalgt med henblik på, at eleverne selv måler sig frem til markante og centrale udviklingstendenser i menneskets evolution. *Menneskedyret* er tilgængeligt for alle på museets hjemmeside og gratis at benytte.

Læs mere om *Viden på vej* og *Menneskedyret* på Statens Naturhistoriske Museums hjemmeside <http://snm.ku.dk> eller www.menneskedyret.dk

Med en bus fyldt med autentiske genstande og unge forskere vil Statens Naturhistoriske Museum drage ud i landet og besøge gymnasierne. Et af hovedemnerne er Darwins evolutionsteori.

Foto: Mikal Schlosser, Statens Naturhistoriske Museum



Kunsten at være interdisciplinær

Af Carsten R. Kjaer

Interdisciplinaritet er tidens krav til forskningsverdenen. For skal vi løse de store udfordringer, verden står overfor, er det vigtigt, at forskerne arbejder interdisciplinært, lyder argumentet. Da jeg var ung snakkede man en del om at være tværfaglig. Jeg har ikke helt fundet ud af, om udtrykket interdisciplinaritet rummer noget nyt og særligt i forhold til ordet tværfaglighed, udover at det er betydelig bedre at bruge som fuldmandsprøve. Men det er måske heller ikke så vigtigt. Nogle gange kan det jo være formålstjenligt at kalde gamle travere noget nyt for at demonstrere fremdrift og innovation. Og ligesom der en særlig indsigt gemt i ordet interdisciplinaritet, som jeg blot ikke har opdaget, kan jeg forhåbentlig se frem til en åbenbaring på et tidspunkt.

Follow the money

Nå, men selvfølgelig er det al ære værd at ville løse verdens store problemer. Og hvis interdisciplinaritet er vejen dertil, så er det bare om at komme derudaf. Men man behøver ikke engang være idealist for at gå den interdisciplinære vej. Således rummer EU's næste store forskningsprogram Horizon 2020 ikke mindre end 600 herlige forskningsmilliarder, som netop er fokuseret på løsningen af de store globale udfordringer. Hvis man vil have del i disse penge er kravet, at man stiller med et interdisciplinært hold – og jo større afstand mellem fagområderne, jo bedre.

Skal man tro en analyse i Politiken fra i sommers, er vi dog slet ikke så gode til at arbejde interdisciplinært i Danmark som vi selv går og tror. Derfor er vi dårligt rustet til at kæmpe med om alle EU-forskningsmilliarderne. I hele den lange artikel stod der ikke noget om, hvilke fordele den enkelte forsker rent fagligt kan opnå ved at tænke interdisciplinært – udover altså, at det åbner pengeskasser. Men flere incitamenter behøver der jo sådan set heller ikke at være.

Antropologiske materialestudier

Man kan undre sig over, at vi i Danmark skulle være dårlige til at forske interdisciplinært, da vi jo har adskillige succesfulde eksempler på interdisciplinær forskning inden for fx nanoscience og bioinformatik. Men ifølge det nye interdisciplinære dogme, skal fysikeren for at være rigtig interdisciplinær, helst arbejde sammen med forskere fra fx humaniora, statskundskab eller økonomi. Interdisciplinære forskningscentre inden for nanoscience eller bioinformatik er derfor nu at betragte som "old school", fordi de holder sig inden for den trygge naturvidenskabelige familie. For at være med på beatet skal det helst være noget med matematik-etik eller kvante-teologi.

Måske er det min fantasi, der er begrænset, men jeg mangler nogle gode eksempler på, at naturvidenskabelig forskning på det lavpraktiske niveau vitterligt befrugtes af metoder og tanke-sæt fra helt andre hovedområder. Lad os som eksempel kigge på det store globale problem at skaffe drikkevand til snart 9 milliarder mennesker i verden. En teknisk-naturvidenskabelig forsker kan i den forbindelse fx beskæftige sig med at studere materialer, der kan bruges til at lave nye effektive membraner, der kan filtrere salte fra havvand. Hvordan kan en sådan forsker lade sig inspirere af andre hovedområder i sin forskning? Er der mon en særlig antropologisk eller business-agtig måde at få presset vandmolekylerne hurtigere igennem en sådan membran? Det må tiden vise.

