

Aktuel NATURVIDENSKAB

2 | MAJ 2013

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00

På jagt efter de mindste alger

BIG BANG SET I NYT LYS

MENNESKETS UDVIKLINGSHISTORIE BEGRAVET I KILDEKALK

FRA AFFALD TIL OLIE



Af Sebastian Horst
Institutadministrator på
Institut for Naturfagenes
Didaktik, Københavns
Universitet.
Redaktør på tidsskriftet
MONA – Matematik- og
Naturfagsdidaktik.
e-mail: shorst@ind.ku.dk

BIGBANG gør mig glad

Konferencen BIGBANG samlede for nylig mere end 500 lærere, forskere og formidlere med det formål at diskutere naturfaglig undervisning.

»Lærernes kompetencer er den mest afgørende faktor for succesrig undervisning, og de kræver kontinuerlig pleje og udvikling. I hele det danske uddannelsessystem er investering i medarbejderudvikling imidlertid et forsvundet område.«

Sådan stod at læse i bogen Fremtidens naturfaglige uddannelser som en arbejdsgruppe nedsat af undervisningsministeren skrev som et samlet bud på en vision og en strategi for hele det naturfaglige uddannelsesområde, og som blev udgivet i 2003 af Uddannelsesstyrelsen. Jeg var én af forfatterne, og i 10-året for dette er det rimeligt at spørge hvad der er sket siden da. Jeg synes ikke der er sket nok. Og jeg tror heller ikke vi skal forvente så meget fra centralt hold. Hvis udvikling af lærerkompetencer skal fylde mere, skal det komme nedefra. Det skal være et folkeligt pres på uddannelsessystemet at lærere er velkvalificerede og velmotiverede. Ingen må være i tvivl om at eleverne lærer mere, når læreren er engageret og godt udrustet fagligt og pædagogisk!

Men noget er dog sket, og jeg deltog lige før påske i en begivenhed som for mig at se uden tvivl medvirker til at lærere er engagerede og fagligt og pædagogisk opdaterede, nemlig konferencen BIGBANG. Det er en nyskabelse i Danmark hvor en række institutioner og organisationer inden for det naturfaglige område er gået sammen om at skabe én stor årlig begivenhed der kan samle mere end 500 lærere, forskere og formidlere inden for naturvidenskab.

I over 100 programpunkter fordelt på to dage kunne man deltage i workshopper, præsentationer og debatter om alle mulige emner inden for naturfaglig undervisning. Lige fra forskning i evalueringsformer i naturfag, over foredrag om Bohrs 100 år gamle artikler til workshopper om brug af ny teknologi i naturfagsundervisningen.

En succes

Forhåndsinteressen for BIGBANG var så stor at billetterne blev revet væk flere måneder forinden, og ventelisten var over 150 personer. Levede det så op til forventningerne? Jeg har netop gennemgået evalueringskemaerne fra konferencen, og det var en fornøjelse.

Tilbagemeldingerne er markant positive, ligesom dette citat fra en deltagende lærer: »Dejligt, at der både var mulighed for at få en masse faglig viden om læring og naturfag samt en masse ideer til den daglige undervisning. Fantastisk at møde en stor gruppe mennesker, der

også brænder for naturfag. Jeg var helt høj, da jeg kom hjem fra konferencen.»

Mange mennesker giver selvfølgelig mulighed for store foredrag, og det havde konferencen skam også, i år var det Anja C. Andersen (Københavns Universitet), Justin Dillon (King's College London) og Johan Olsen (Magtens Korridor og Københavns Universitet). Men det er nok mere afgørende ved BIGBANG at så mange mennesker også gør at man kan mødes omkring de helt særlige interesser man har. Jeg oplevede fx en meget engageret diskussion om hvordan man bygger sin egen 3D-printer til brug i undervisning. Det var kun ca. ti mennesker, men måske var det netop de ti personer i Danmark der har brug for at mødes og tale med andre med samme interesse. Det kan BIGBANG skabe rammerne for.

Behov for mere sammenhæng

Jeg var selv tovholder for en del af programmet og oplevede en stor interesse fra forskningsmiljøer inden for naturfagsdidaktik i at deltage og formidle resultater fra forskningen. Det er en glæde at opleve. Når der er et godt samarbejde mellem forskning og undervisning, er der større chancer for at skabe en naturfagsundervisning, der fastholder og udvikler børn og unges interesse. Jeg tror den personlige kontakt der kan skabes ved BIGBANG, er afgørende for et sådant samarbejde.

Hvorfor er der gået så lang tid før BIGBANG finder sted? Måske har vi i Danmark berøringsangst i forhold til at skabe en sammenhængende organisering. Det underbygges af en tendens til at oprette det ene center mv. efter det andet. Og hver enhed har (haft) brug for deres egne arrangementer. Jeg synes det er fremragende at otte centrale aktører er gået sammen om BIGBANG: Dansk Naturvidenskabsfestival, Centre for Undervisningsmidler, ScienceTalenter, Naturvidenskabernes Hus, Økolariet, tidsskriftet MONA, Institut for Naturfagenes Didaktik – og ikke mindst med NTS-centeret (Nationalt center for undervisning i natur, teknik og sundhed) i spidsen. Her beviser NTS-centeret virkelig sit værd som en samlende organisation mellem lærere, formidlere og forskere.

BIGBANG er inspireret af de årlige nationale ASE konferencer i England der i mange år har været en markant begivenhed for naturfagsundervisere. Det håber jeg også BIGBANG vil blive i Danmark, og jeg skal helt sikkert selv med i 2014 når BIGBANG finder sted 20.-21. marts. Her er der faktisk noget at glæde sig til. ■

Læs mere på: www.bigbangkonferencen.dk hvor der også er materialer fra dette års konference.

Indhold

FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
Jordens mikrobielle motorer.....	6
Den selvforsynende gadelampe.....	12
Fra affald til olie: Kør på gylle, flyv på græs.....	14
Statistikere afgjorde 2. verdenskrig.....	20
Menneskets udviklingshistorie begravet i kildekalk.....	22
Grise med modernmærkekræft.....	28
Regnbueørreden – ekspert i miljøtilpasning.....	32
På jagt efter de mindste alger i Grønlandshavet.....	36
Big bang set i nyt lys.....	40
Hands on genterapi.....	44

PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: BIGBANG gør mig glad.....	2
Klima-slaveri.....	46
Boganmeldelse: Isaac Newton – geniet og mennesket....	49
Service.....	50
Bagsiden: Lystønde med bijob.....	52

6

Jordens mikrobielle motorer

Der er et begrænset antal mekanismer hvorigennem levende organismer skaffer sig energi. De strukturer, der udfører disse processer, opstod tidligt i livet oprindelse hos bakterier, og er bevaret stort set uændret siden. Disse "mikrobielle motorer" driver biosfærens stofkredsløb.

20

Statistikere afgjorde 2. verdenskrig

I begyndelsen af 1943 begyndte de allierede at bruge en matematisk formel til at bestemme antallet af tyske tanks. Formlen blev afgørende for krigen udfald..



40

Big bang set i nyt lys

Den europæiske Planck-satellit har afsløret, at universet er ældre, anderledes opbygget og mere udfordrende end hidtil antaget.

Gekkoer på våd grund

Gekkoer er kendt for deres klæbende fødder, der gør dem i stand til at løbe rundt på alle mulige overflader, uanset om de vender op eller nedad. Gekkoernes klæbeevne bygger på fænomenet adhæsion, hvor molekylerne i overfladen af millioner af små hår under gekkoernes fødder tiltrækkes af molekylerne i underlagets overflade. Der er dog en egenskab ved gekkoernes klæbeevne, der indtil for nylig har undret forskerne: Undersøgelser har vist, at gekkoer ikke kan holde sig fast på vådt glas, og hvis våde overflader er et problem for gekkoer, så kan det virke paradoksalt, at mange gekkoer lever i tropiske egne, hvor våde overflader hører til dagens orden.

For bedre at forstå hvordan gekkoer holder "vejgrebet" i deres naturlige miljø, har Alyssa Stark og kolleger fra University of Akron, USA, målt gekkoers adhæsion til forskellige overflader under tørre og våde forhold.

Forskerne monterede seletøj på seks gekkoer, og mens gekkoerne bevægede sig hen over en overflade, blev der trukket i seletøjet i modsat retning indtil gekkoerne gled på underlaget. Forskerne fandt, at der er en sammenhæng mellem gekkoernes evne til at klæbe til underlaget, og i hvilken grad overfladen er vandafvisende, og at denne sammenhæng er i overensstemmelse med en termodynamisk model for adhæsion.

På våde vandafvisende overflader som bladene på tropiske planter, er der regioner under gekkoernes fødder, der forbliver tørre, og den overordnede adhæsion påvirkes derfor ikke af tilstedeværelsen af vand. Anderledes forholder det sig på ikke-vandafvisende overflader som glas, hvor gekkoerne glider, når det bliver vådt. En overflade af teflon passede ikke til modellen, idet gekkoerne faktisk kunne holde

endnu bedre vejgreb på våd end på tør teflon. Det tyder på, at andre faktorer som friktion og overfladens ruhed spiller en rolle for gekkoernes adhæsion.

Ifølge forskerne kan resultater inspirere til udviklingen af gekko-tape, der kan bevare klæbeevnen også når det er vådt.

CRK. Kilde: PNAS vol. 110 (16) 6340-6345

Foto: Ethan Knapp and Alyssa Stark, The University of Akron

En tokay-gekko (*Gekko gecko*) er klar til en "adhæsions-test" på en våd overflade. Via den blå snor trak en motoriseret kraftsensor i modsat retning indtil gekkoen mistede vejgrebet.



Hjerneaktivitet afslører smerte

Måling af hjerneaktivitet kan måske en dag blive fysiologernes indgang til en mere objektiv vurdering af smerte hos patienter, viser et nyt studium.

Tor Wager ved University of Colorado Boulder og kolleger har ved hjælp af en teknik til billeddannelse af hjernens aktive områder med en MR-skanner målt på en række frivillige forsøgspersoner, mens de blev udsat for varmestimulering på deres arm – fra blot varmt til smerteprovokerende varmt. Forskerne brugte disse data til at finde et mønster af hjerneaktivitet, som konsistent opstod, når forsøgspersonerne blev udsat for smerteprovokerende varme.

Yderligere tests viste, at denne signatur kunne skelne fysisk smerte fra andre stimuli såsom "hjertesorg" over et nyligt forlist forhold eller erindringen om smertefulde begivenheder. Studiet viste også, at denne hjernesignatur blev reduceret ved brug af smertestillende lægemidler.

CRK.

Kilde: N. Engl. J. Med, 2013; 368:1388-1397

Foto: Colourbox.



Målinger har vist, at en hjernesignatur kan skelne mellem fysisk smerte.

Tidsskriftstyre

Falske hjemmesider, der udgiver sig for at være de officielle sider for respektable virksomheder eller offentlige institutioner, hører til dagens uorden. Formålet med sådant identitetstyveri er selvfølgelig at narre penge ud af troskyldige borgere. Nu er også forskningsverdenen blevet udsat for denne form for cyberkriminalitet. Ukendte bagmænd har således oprette falske hjemmesider for to velrenommerede videnskabelige tidsskrifter, nemlig *Archives des Sciences*, et tværfagligt tidsskrift udgivet af Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève, Schweiz; og *Wulfenia* et tidsskrift om botanik udgivet af Carinthias

regionale museum i Klagenfurt, Østrig. De falske hjemmesider er blevet brugt til at franarre hundredvis af forskere penge til at få publiceret deres artikler. Afgiften for dette er mere end 500 dollars, som forskerne blev instrueret i at betale til konti i to armenske banker.

Netop tidsskrifter som *Archives des Sciences* og *Wulfenia* har været særligt udsatte for bedrageri, da de ikke har deres egne websites. Og det lykkedes i første omgang også bagmændene at narre Thomsen Reuters (som laver det såkaldte Science Citation Index og samler information om videnskabelige tidsskrifters gen-

nemslagskraft), så Thomsen Reuters bl.a. linskede til den ene af de to falske hjemmesider. Bedrageriet blev opdaget i maj sidste år, og siden har redaktørerne fra de rigtige tidsskrifter forgæves forsøgt at få gjort noget ved falskneriet. Begge falske websites lever således fortsat i bedste velgående.

CRK. Kilde: *Nature* 495, 421–422

Tjek de falske hjemmesider ud på nettet:
<http://www.archiveofscience.com/>
<http://www.multidisciplinarywulfenia.org/>

Fra halm til menneskeføde

Hovedbestanddelen af fx træ, græs og halm er cellulose, der er en af de mest almindelige organiske forbindelser på Jorden. Vi mennesker kan ikke fordøje cellulose, og derfor udgør en stor del af plantematerialet på Jorden ikke en potentiel fødekilde for os. Men det kan det måske komme til, viser et nyt studium af bioproces-ingeniøren Y.-H. Percival Zhang fra Virginia Polytechnic Institute and State University i Blacksburg. I en artikel i tidsskriftet *PNAS* beskriver Zhang og kolleger en proces, som ved hjælp af et sæt af enzymer kan omdanne cellulose til stivelsesmolekylet amylose. Stivelse udgør op til omkring 40 % af menneskers kost. Både cellulose og stivelse er opbygget af et stort antal enheder af sukkermolekylet glukose. Forskellen på de to molekyler er den måde, glukosemolekylerne kemisk er bundet sammen på.

ren glukose, som efterfølgende kan fermenteres til biobrændstof. Intet af den frigivne glukose fra cellulosen går dermed tabt.

Selvom processen virker efter hensigten, er den dog på ingen måde rentabel på nuværende tidspunkt, da de anvendte enzymer, som forskerne har produceret ved hjælp af genet modificerede bakterier og gener fra bakterier, svampe og kartofler, er meget dyre. Forskerne ser dog intet til hinder for, at processen med yderligere udvikling vil kunne blive kommerciel rentabel, og dermed gøre det muligt at lave bioraffinaderier, der på samme tid producerer fødevarer og biobrændstof.

CRK, Kilde: *PNAS*, doi/10.1073/pnas.1302420110

Foto: Colourbox.

I forskernes nye proces nedbryder et sæt af enzymer cellulosen til cellobiose, som består af et par af glukosemolekyler. Det andet sæt af enzymer splitter derefter cellobiosen i et almindeligt glukosemolekyle og et molekyle kaldet glukose 1-fosfat, som er et glukosemolekyle med et fosfatmolekyle koblet på. Dette glukose 1-fosfat udgør så byggeblokke for dannelsen af kæder af stivelsesmolekylet amylose.

På nuværende tidspunkt omdanner processen op til næsten en tredjedel af cellulosen til amylose. I tørret tilstand er stoffet et hvidt pulver, der kan tilsættes fødevarer, men det kan også bruges til andre ting som fx til produktion af transparent, fleksibel og bionedbrydelig plastik. Resten af cellulosen omdannes i processen til

En ny proces kan omdanne cellulosen i fx halm til stivelse, som vi mennesker kan fordøje.



Smart membran

Forskere ved University of Utah, USA, har dannet inorganiske membraner ud fra guldbelagte nanokugler af siliciumdioxid (SiO₂), der selvsamlede til krystaller, og efterfølgende blev varmet op. Belægningen med guld gør, at forskerne kan binde forskellige kemiske grupper til kuglerne. Ved at modificere overfladen kan forskerne påvirke, hvordan forskellige molekyler passerer gennem membranen – en proces, der yderligere kan kontrolleres ved at ændre pH. Forskerne skriver, at sådanne materialer vil kunne bruges til kemisk separation, katalysatorer og sensorer.

CRK, Kilde: *Langmuir* 29, 3749–3756 (2013)

Jordens mikrobielle motorer

Der er et begrænset antal mekanismer hvorigennem levende organismer skaffer sig energi. De strukturer, der udfører disse processer, opstod tidligt i livet oprindelse hos bakterier, og er bevaret stort set uændret siden. Disse "mikrobielle motorer" driver biosfærens stofkredsløb.

Forfatter



Tom Fenchel
Professor,
emeritus
Marinbiologisk
Laboratorium,
Københavns Universitet.
tfenchel@bio.ku.dk

Jorden er ca. 4,6 milliarder år gammel, og liv opstod måske for ca. 4 milliarder år siden. I halvdelen af den tid, der har været liv på Jorden, fandtes kun bakterier. De første encellede eukaryoter opstod for ca. 2 milliarder år siden. Flercellede eukaryoter: alger og dyr opstod for henholdsvis ca. 1 milliard og 600 millioner år siden; karplanter kom til endnu senere.

Al grundlæggende biokemi var imidlertid udviklet hos bakterier før eukaryoterne opstod. Med hensyn til energistofskifte repræsenterer eukaryoter et begrænset repertoire sammenlignet med bakterier. Hos alger og planter findes ilt-dannende fotosyntese, der genererer kulhydrater ud fra CO_2 , vand og lysenergi og omsætter lysenergi til kemisk energi, der driver andre processer i cellerne. Praktisk talt alle eukaryoter får energi gennem oxidation af organisk stof med ilt. Hos eukaryoterne sker fotosyntese og respiration i specielle organeller: Grønkorn og mitokondrier, som nedstammer fra repræsentanter for to grupper af bakterier, der efter en tidligere tilværelse som fritlevende etablerede sig indeni de første eukaryote celler.

Mekanismer hvormed levende organismer genererer energi har fælles træk. De beror på et begrænset antal komplekser af proteiner, der katalyserer energistofskiftet: "mikrobielle motorer". De opstod antageligvis for mere end 3 milliarder år siden, og repræsenterer endnu et vidnesbyrd om alt livs fælles oprindelse. De driver de biogeokemiske processer på Jordens overflade, og er årsag til atmosfærens og havenes kemiske sammensætning. Disse mekanismer er evolutionært konservative og grundlæggende uforandrede gennem livets historie.

Energistofskiftet

Man skelner mellem to typer af stofskifte. *Assimilatorisk* stofskifte er involveret i opbygningen af orga-

nismer, dvs. optagelse af stof fra omgivelserne og produktion af de stoffer, som organismen består af. Fotosyntetiske organismer og nogle andre typer af bakterier opbygger sig selv udelukkende ud fra CO_2 og andre uorganiske stoffer, der tilsammen bidrager med de ca. 24 grundstoffer, som indgår i alle organismer. *Energistofskiftet* er grundlaget for at drive energikrævende processer i organismer – herunder det assimilatoriske stofskifte.

Forgæring (eller fermentation) er en type energistofskifte, hvor større organiske molekyler klippes til mindre molekyler. Dette giver kun lidt energi, men mange mikroorganismer og enkelte dyr klarer sig ved forgæring i fravær af ilt. Det er en vigtig proces i naturen. Forgærende bakterier omdanner under iltfri forhold organiske molekyler til brint og simple organiske stoffer. Andre typer af bakterier sørger så for en videre nedbrydning til $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Højere organismer får energi ved at oxidere organisk stof med ilt. Respiration er en *redox proces*, hvor der overføres elektroner til ilt fra et substrat. Hos eukaryoter sker processen i mitokondriernes membran, hos bakterier i cellemembranen. Processen er koblet til syntese af ATP (adenosintrifosfat): en universel energileverandør i organismer. Ved at splitte et eller to fosfatmolekyler fra ATP frigøres kemisk energi, der driver energikrævende processer i cellerne. Mekanismen til ATP-dannelse var til stede hos den sidste fælles stamform, da alle nulevende organismer har enzymet ATP-syntase, der katalyserer dannelsen af ATP. Enzymet er et protein-kompleks, som kun har ændret sig lidt gennem evolutionen.

Vi kan skrive respirationsprocessen som:
 $\text{AH}_2 + \text{B} \rightarrow \text{A} + \text{BH}_2$. Her er H brint og AH_2 er substratet mens B er et oxidationsmiddel, som kan være ilt, men forskellige bakterier bruger andre oxi-



dationsmidler såsom NO_3^- , Fe^{3+} , Mn^{4+} , eller SO_4^{2-} . Forskellige bakterier anvender ikke organisk stof som substrat som eukaryoter gør, men oxiderer forskellige uorganiske forbindelser som fx H_2 , CH_4 , Fe^{2+} , H_2S eller NH_4^+ .

Respirationsprocesser må termodynamisk være "ned ad bakke processer", dvs. kunne give energi fra sig. De forskellige processer danner ikke lige meget energi. Ilt som elektronacceptor og H_2 , CH_4 eller organisk stof som elektrondonor giver mest energi. Brugen af andre elektronacceptorer foregår i iltfri omgivelser som i havbunden, i vandmættet jord og dybe søer. Mindst energiudbytte giver metandannelse fra $\text{H}_2 + \text{CO}_2$. Metanbakterier trives derfor kun hvor ikke blot ilt, men også sulfat, nitrat og oxideret jern er fraværende – ellers udkonkurreres de af andre bakterier.

Fotosyntese

Fotosyntese er en måde at få energi uden anvendelse af kemisk bindingsenergi. Vi kender processen fra grønne planter som iltdannende fotosyntese, hvor CO_2 reduceres til organisk stof med vand som reduktionsmiddel og ilt som metabolit (nedbrydningsprodukt). Lysenergi omdannes desuden direkte til energi i form af ATP hos fotosyntetiske organismer. Fotosynteseprocesser kan generaliseres til, at en elektrondonor reducerer CO_2 til organisk stof

ved hjælp af lysenergi. Hos forskellige bakterier kan elektrondonoren udover H_2O (som hos planter) – være H_2 , H_2S , eller Fe^{2+} . Der er så tale om ikke-iltdannende fotosyntese, hvor slutprodukterne i stedet for O_2 er henholdsvis H_2O , S , SO_4^{2-} , eller Fe^{3+} .

I membranen hos fotosyntetiske bakterier er der indlejret såkaldte fotosystemer, der består af komplekser af proteiner, hvoraf nogle er fotosyntetiske pigmenter. Disse pigmenter er klorofyl i iltdannende fotosyntese og kemisk beslægtede bakterioklorofyller hos bakterier med ikke-iltdannende fotosyntese. Lyset slår elektroner fri fra klorofyllet og elektronerne gennemløber så en transportkæde af enzymer, der er mere eller mindre identisk med den, der anvendes til respiration, for til sidst at føres tilbage til klorofylmolekylet. Processen er koblet til dannelsen af ATP.

Elektroner kan også udnyttes til at reducere CO_2 til organisk stof. I så fald må de skaffes udefra: fra vand eller i ikke-iltdannende fotosyntese fra H_2S , H_2 eller Fe^{2+} . Dermed dannes så henholdsvis O_2 , SO_4^{2-} , H_2O eller Fe^{3+} som metabolitter.

Bakterier med ikke-iltdannende fotosyntese har én af to slags fotosystemer karakteristisk for forskellige grupper. Hos iltdannende fotosyntetiske organismer findes to fotosystemer (I + II), hvor opsplittin-

gen af vand til ilt og proton+elektron foregår i fotosystem II. Ildtannende fotosyntese er opstået hos cyanobakterier (figur nederst).

Analyser af gener, der koder for dele af fotosystemer, viser, at fotosystem I og II nedstammer fra de to forskellige fotosystemer, der findes hos bakterier med ikke-ildtannende fotosyntese. På en eller anden måde er de kommet sammen i en "proto-cyanobakteriecelle", hvilket muliggjorde ildtannende fotosyntese. Hvordan det skete ved man ikke, men det udgjorde grundlaget for Jordens iltholdige atmosfære, for respiration med ilt og dermed for højere liv. Grønkorn i alger og planter er efterkommere af cyanobakterier, der oprindeligt var selvstændige organismer. På et tidspunkt etablerede nogle sig inden de første eukaryote celler og udviklede sig siden til de specialiserede organeller (grønkorn), hvori fotosyntesen foregår hos alger og planter.

De mikrobielle motorers oprindelse og evolution

De mikrobielle motorer består af komplekser af enzymer, der katalyserer processerne beskrevet ovenfor, og de er forblevet relativt uændrede gennem evolutionen. Mange af enzymerne eller modificerede udgaver indgår i samtlige typer af respirations- og fotosynteseprocesser og de gener, der koder for dem, udgør genfamilier med fælles oprindelse.

Oprindelsen af alle grundlæggende former for energistofskifte er formodentligt ældre end 3-3,5 milliarder år. Geologiske vidnesbyrd i form af fordelingen af stabile isotoper af kulstof og af svovl viser, at sulfatrespiration og metandannelse foregik for 3,5 milliarder år siden. Stamtræer baseret på sekvenser af gener inden for genfamilier viser, at nogle af de

involverede genfamilier findes hos begge hovedgrupper af bakterier: eubakterier og archaeobakterier, som repræsenterer den tidligst kendte forgrening i livets udvikling, så formodentlig fandtes de hos den sidste fælles forfader til alt nulevende liv. Fotosyntese baseret på klorofyller findes dog kun inden for eubakterier (og i grønkorn hos eukaryoter) og metandannelse kun blandt archaeobakterier.

Man antager, at ildtannende fotosyntese og respiration med ilt kom til relativt sent. Man ved fra fossile cyanobakterier, at ildtannende fotosyntese var opstået for senest 2,8 milliarder år siden, og der er vidnesbyrd om tidligere tilstedeværelse af små mængder atmosfærisk ilt. Men frem til for ca. 2 milliarder år var atmosfærens iltindhold lavt, under 1-2 % af det nuværende iltindhold, og på nær overfladelagene var oceanerne iltfri.

Biogeokemiske stofkredsløb

Udviklingen af én type energistofskifte medførte andre typer af energistofskifte beroende på den første types metabolitter. Da fx fotosyntese baseret på svovlbrinte var opstået, dannedes sulfat på den stadig iltfri Jords overflade. Der var så basis for opståen af sulfatåndende bakterier, der udnytter sulfat som elektronacceptor med dannelse af svovlbrinte – og således var et biologisk drevet svovlkredsløb etableret.

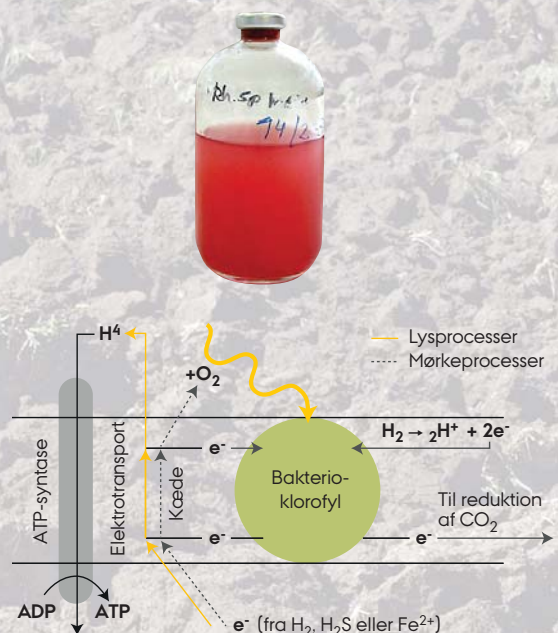
Biogeokemiske stofkredsløb beskrives ofte som sluttede kredsløb af et givet grundstofs biologisk drevne transformationer. I virkeligheden er de forskellige kredsløb sammenkoblede (figur næste side). Primært er alle processer drevet af solenergi gennem forskellige former for fotosyntese koblet sammen med forskellige typer af respirationsprocesser.

Stofskiftet hos en fotosyntetisk bakterie

Øverst: Purpur ikke-svovlbakterier (*Rhodospirillum*). I lys kræver de iltfri betingelser, men i mørke foretrækker de en lav iltkoncentration. De er dyrket under konstant iltfri forhold og konstant belysning som energikilde.

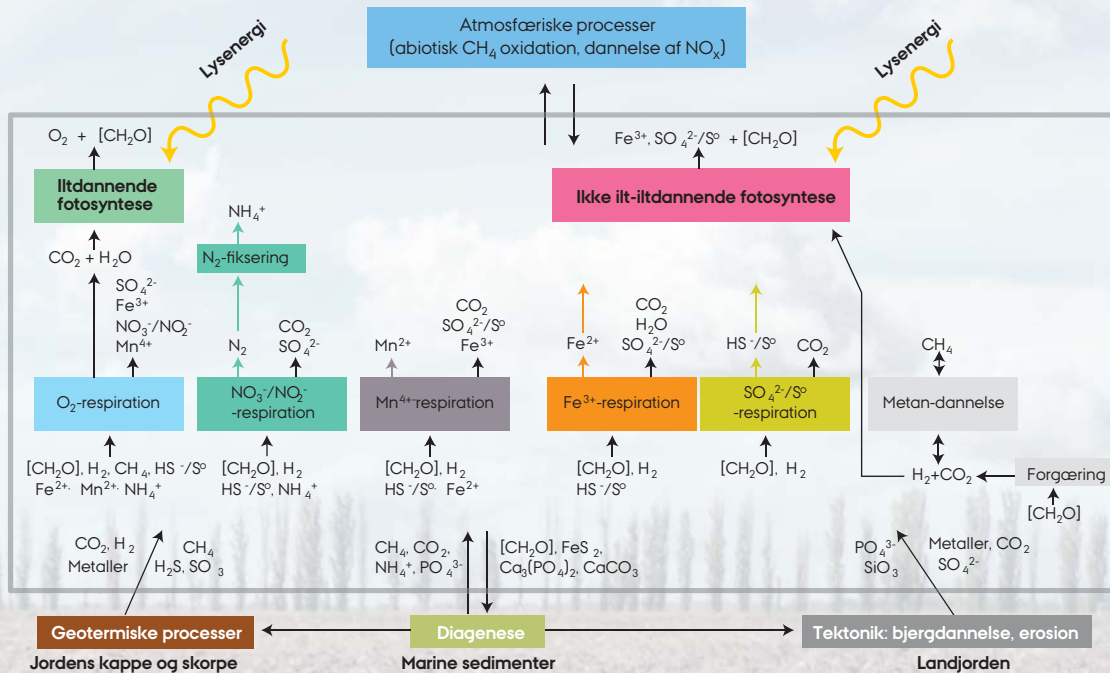
Nederst: energistofskiftet i lys og mørke. I lys slås elektroner fri fra bakterioklorofyl. De gennemløber så en elektrontransportkæde, som grundlæggende er identisk med den, der findes hos respirerende organismer. Den dermed frigivne energi driver syntesen af ATP.

Elektronerne kan også anvendes til at reducere CO_2 til organisk stof. I så fald må cellen skaffe elektroner udefra; hos disse bakterier er det fra H_2 , Fe^{2+} eller svovlbrinte. I mørke respirerer bakterierne ilt, men cellerne bruger det samme enzymatiske maskineri som under fotosyntesen. Disse organismer repræsenterer i virkeligheden hovedkomponenterne i de fleste organismers energistofskifte inklusive den, der findes hos højere organismer. Metanbakteriers energistofskifte er dog væsentligt forskelligt.



De biologisk betingede stoffkredsløb beskrives ofte som cykliske kredsløb, hvor alt stof genbruges. Det kan være nogenlunde korrekt over korte tidsrum. Men biologisk drevne stoffkredsløb ville til sidst gå i stå hvis ikke Jorden var geologisk aktiv. Ikke alt organisk stof nedbrydes gennem respiration; noget aflejres i sedimenter i bunden af havet, søer og i sump. Fossile brændstoffer er et eksempel, men den største pulje af organisk stof på Jorden er i form af

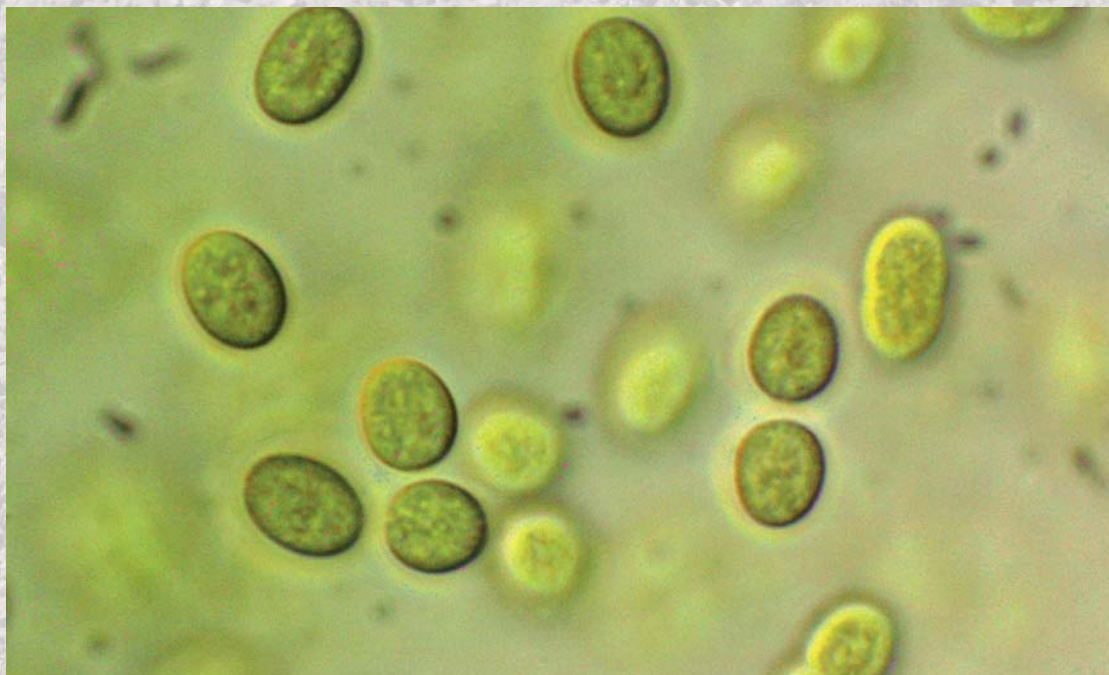
diffust organisk stof i sedimentære bjergarter. Uden geologiske processer ville atmosfærens pulje af CO_2 efterhånden forsvinde. Når der findes fri ilt i vores atmosfære beror det på, at ikke alt organisk stof omsættes gennem respiration med ilt. På den måde kunne ilt langsomt akkumulere i atmosfæren over geologisk tid. Andre essentielle stoffer (fx fosfor) akkumuleres også i en for biosfæren utilgængelig form i havbundens aflejringer.



En forenklet udgave af biosfærens globale stoffkredsløb

De biologiske processer er indenfor og de ikke-biologiske udenfor den grå ramme. Figuren viser, at der tabes essentielle komponenter fra de biologiske stoffkredsløb gennem sedimentation i havbunden og regenereres gennem geologiske processer som vulkanisme og erosion af mineraler på landjorden. $[\text{CH}_2\text{O}]$ står for organisk stof.

(Figur efter Falkowski, Fenchel & DeLong, 2008).



Cyanobakterier – grønkorn

Repræsentant for ca. 10 μm store encellede cyanobakterier (mange andre danner forskellige typer af kolonier). Cyanobakterier var de første organismer med iltdannende fotosyntese, og nogle blev også stamform til algers og planter grønkorn.

Foto: Tom Fenchel



DIN FREMTID STARTER HER

Vælg mellem 22 natur- og biovidenskabelige bacheloruddannelser på Københavns Universitet

Biokemi
Biologi
Biologi-bioteknologi
Datalogi
Forsikringsmatematik
Fysiske fag
Fødevarer og ernæring
Geografi og Geoinformatik

Geologi-geoscience
Have- og parkingeniør
Husdyrvidenskab
Idræt
Jordbrugsøkonomi
Kemi
Landskabsarkitektur
Matematik

Matematik-økonomi
Molekylær biomedicin
Nanoscience
Naturressourcer
Naturvidenskab og It
Skov- og landskabsingeniør

Læs meget mere om vores uddannelser på studier.ku.dk



Se film om vores uddannelser
på science.ku.dk/film



Geologiske processer regenerer disse stoffer. Geotermisk aktivitet som vulkansk udgasning medfører, at CO₂ og svovl føres tilbage til biosfæren. Bjergkædedannelse og efterfølgende erosion på landjorden bidrager ligeledes til en regeneration af stoffer i opløst form. Livets opretholdelse er derfor betinget af, at Jorden er geologisk aktiv.

Hvorfor er de mikrobielle motorer ikke synlige i naturen?

Når vi ser os omkring i naturen er det store organismer dvs. planter og dyr, der falder i øjnene, og på landjorden spiller planter og i havet encellede alger væsentlige roller som biogeokemiske aktører. Men resten skyldes primært mikrober, og kvalitativt er der en række processer, der udelukkende udføres af bakterier.

Bakterier er små – typisk omkring 1/1000 mm – og ses ikke med det blotte øje. Men en milliliter havvand indeholder ca. en million bakterier, og i havbunden eller i jord kan man gange med 100 til 1000. Den biologiske omsætning per vægtenhed er større hos små end hos store organismer: ca. 10.000 × højere hos bakterier med en vægt på 10-12 g end hos

dyr på 10 kg. Derfor er de vigtigste aktører i biosfærens kemi usynlige. Og så alligevel: Nogle bakterier er faktisk synlige i naturen, idet man fx kan se cyano- og purpurbakterier som farvede områder på havbunden (foto nederst denne side).

Det store ubesvarede spørgsmål

Selvom nogle typer af bakterielt energistofskifte først er blevet opdaget inden for de seneste årtier kender vi formodentlig nu stort set eksisterende former for energistofskifte hos bakterier. Den kvalitative beskrivelse af biosfærens globale stofskifte er sikkert også nogenlunde korrekt. Men for at kunne lave kvantitative forudsigelser er der langt igen, fordi der er så mange involverede positive og negative feedback mekanismer.

Det videnskabelige mest interessante aspekt er, hvordan de mikrobielle motorer opstod. Det berører problemet om livets opståen, og om hvordan et energistofskifte blev koblet sammen med et genetisk system, så at en darwinistisk evolution kunne begynde. Her er der trods store fremskridt i forståelsen af de mikrobielle motorer og genetisk evolution stadig langt igen. ■

Læs videre

Falkowski, P.G., Fenchel, T., Delong, E.F. 2008. The microbial engines that drive Earth's biogeochemical cycles. *Science*, 320: 1034-1039.



De mikrobielle motorer er ikke altid usynlige for det blotte øje. Her ses lidt af havbunden i Nivå Bugt – de 2-3 cm lange blåmuslingeskaller gør det ud for en målestok. De olivengrønne belægninger er overvejende cyanobakterier. De pinkfarvede områder skyldes purpursvovlbakterier med en fotosyntese baseret på svovlbrinte som elektrondonor; de hvide områder skyldes farveløse svovlbakterier, der lever af at ilte svovlbrinte. Hist og her er sedimentet blotlagt; det er sortfarvet på grund af produktion af svovlbrinte af sulfatåndende bakterier i den iltfri havbund. Svovlbrinten går delvis i forbindelse med jern og jernsulfid er sort. Der er også mange andre fysiologiske typer af bakterier tilstede, men deres tilstedeværelse er ikke synlige med det blotte øje.

Foto: Tom Fenchel

Den selvforsynende

En CO₂-neutral gadelampe, der er selvforsynende med strøm – selv under de omskiftelige, danske forhold – er målet for et dansk forskningsprojekt.

Langs de danske veje står et stort antal gadelamper, der efterhånden er ved at være modne til udskiftning. Samtidig vil kommunerne gerne spare på udgifterne til gadebelysning. En enkelt lysmast bruger i gennemsnit 690 kWh om året, og i alt bruges 1-2 % af den samlede elektriske energiforsyning i Danmark på belysning af vore veje. Både af hensyn til kommunernes økonomi og CO₂-udledningen er der således god grund til at kigge kritisk på strømforbruget til gadebelysning. Udover selvfølgelig at skrue ned for lysstyrken eller slukke helt for nogle af lamperne, er der også besparelser i at udskifte de gammeldags armaturer med LED-armaturer, der bruger væsentligt mindre strøm.

Men hvad nu, hvis lamperne kan være selvforsynende, så de slet ikke behøver være koblet på elnettet? I så fald vil regnestykket for alvor se godt ud. Sådanne selvforsynende "hybridsystemer" bestående af gadelamper med solceller og vindmøller findes i princippet allerede kommerciel handel. Men der er ikke just tale om hyldevarer, der umiddelbart egner sig til danske forhold.

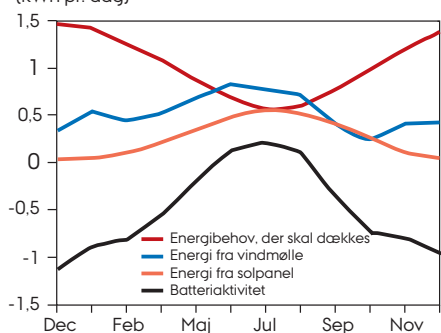
Teknik og æstetik i en højere enhed

Siden april 2011 har vi ved DTU arbejdet på et projekt, der har til formål at udvikle en lysmast med både solceller og vindmølle, og hvor strømmen lagres i et batteri til brug om natten. Et projekt, der udmøntes i et bredt samarbejde med kommuner og private virksomheder. Udfordringen er, at en dansk lysmast skal kunne holde til det til tider mistrøstige danske klima, producere energi nok til at kunne lyse en lang vinternat og derudover have tilstrækkelig med æstetiske kvalitet til, at vi kan holde ud at se på lange rækker af dem på de danske villaveje. I forhold til designet, har de fleste kommercielle produkter i dag mere eller mindre karakter af en pæl, hvor de forskellige komponenter (armatur, vindmølle, solpaneler) er monteret på. Desuden er der ofte problemer med kvaliteten, hvilket vi ved selvsyn har erfaret.

Den første fase af projektet har vi bl.a. brugt på et udredningsarbejde, hvor vi har vurderet de forskellige sol- og vinddrevne lysmaster på markedet, og foretaget målinger på fire repræsentative produkter. Masterne er blevet opstillet på DTU Risø Campus, hvor der i mere end 30 år er blevet afprøvet

Sådan kan en dansk produceret, selvforsynende gadelampe tage sig ifølge det design, som Henning Larsen Architects har lavet i samarbejde med solcellefirmaet Faktor 3. Solpanelerne er placeret på siden af masten.

Energistrømmen i en hybridmast (kWh pr. dag)



Figuren viser en simulering af energistrømmene i en given hybridlysmast over et år med forskernes modelværktøj. De vind- og lysforhold, der indgår i simuleringen, svarer til forholdene på en typisk dansk villavej. Som det fremgår, vil netop dette eksempel på en lysmast have svært ved at levere varen i de mørke måneder, hvor solceller og vindmølle ikke vil kunne levere energi nok til at dække behovet, ligesom batteriet kontant vil være i underskud.

Med modelværktøjet kan forskerne let justere op og ned på parametrene og vurdere, hvordan en lysmast skal dimensioneres til et givet sted.

gadelampe

vindmøller, så man kender vindforholdene ned til mindste detalje og måler også lysindfaldet fra solen. Her kunne vi hurtigt konstatere, at de danske forhold var en prøvelse for disse lysmaster, idet den ene rustede i løbet af få dage, mens en anden efter kort tid gik i stykker.

Matematisk model – genvej til bedre produkt

Det lykkedes at opnå succesfulde målinger på tre af de indkøbte systemer. I praksis viste det sig, at ingen af de tre lysmaster var selvforsynende (selvom den ene var tæt på). Og det var vel at mærke under optimale forhold på bar mark, hvor der ikke er træer eller bygninger, der kan skærme for sol og vind. Det viste sig også, at specielt lysmasternes vindmølle havde problemer med at leve op til den lovede effekt.

På baggrund af målingerne har vi udviklet en matematisk model, der kan simulere energisystemet i en vind- og solcelledrevet gadelampe under forskellige lys- og vindforhold i et bymiljø. Modellen kan populært sagt bruges til at udregne det antal solceller en mast skal forsynes med, hvor høj den skal være, og hvordan vindmøllen skal dimensioneres for at den kan levere den nødvendige strøm til LED-armaturet. Den matematiske model gør det således muligt at arbejde meget systematisk med udviklingen af prototyperne.

Ud i virkeligheden

Projektet har indtil videre også udmøntet sig i et konkret forslag til design af en dansk selvforsynende lysmast, udarbejdet af Henning Larsen Architects. Ideen er her, at masten skal opbygges i moduler, så den kan have forskellige højder, afhængig af hvor mange solceller der er nødvendige og hvor den skal placeres, ligesom vindmøllen skal kunne varieres i størrelse eller evt. helt undværes. Foreløbig findes produktet kun som visualiseringer og en 1:1 mock-up i pap og papir. I den anden fase af projektet, der nu er i fuld gang, skal der laves egentlige prototyper, der skal testes på gader i Københavns Kommune.

I forhold til de eksisterende produkter, er der en række komponenter, der skal være bedre og optimeres, hvis projektet skal blive en succes. Det gælder fx optimering af komponenter som batterier, solceller og vindmølle. Og derudover gælder det optimering af den elektroniske styring og selvfølgelig også det fysiske design, så lysmasten kan fungere i mange år med begrænsede udgifter til vedligehold. I fase to vil vi også undersøge forhold som vibration og støj.

Eksporteventyr?

Ud over at bedrive god forskning er formålet med projektet at udvikle et kommercielt produkt, der kan dimensioneres efter de lokale klimatiske energibetingelser og de lyskrav kunden har. De matematiske simuleringer kan så vise energisystemets geometri, og det kan vurderes, om stedet er egnet til et hybridssystem. Da kabellægning er dyrt i hele verden (i Danmark koster det gennemsnitligt 1.000 kr. pr. meter, og er flere gange dyrere i bykernerne) er der et enormt eksportmarked for hybridssystemer. Sæsonvariationen i nattelængden i Danmark gør det til noget nær et worst case scenarium at sikre stabil belysning hen over året via et hybridssystem. Kan vi få et hybridssystem til at fungere i Danmark, vil det derfor også kunne virke de fleste andre steder i verden.

Går man blot lidt længere sydpå, vil man således kunne gøre såvel solceller som vindturbine og batteri mindre, hvorved systemet bliver billigere og forretningen bedre. Og i egne hvor kabeltræk er ekstremt dyrt på grund af klippegrund eller man er langt fra nettet, ligger nogle helt oplagte markeder, hvor en selvforsynende lampe vil være det eneste fornuftige valg. ■

Tværfagligt projekt

Projektet "Udvikling af CO₂-neutralt byrumsarmatur" er finansieret af programmet ELFORSK, og er ledet af Gate 21, der er et partnerskab mellem kommuner, private virksomheder og forskningsinstitutioner. I projektet deltager Albertslund, Egedal og Københavns kommuner, Virksomhederne Faktor 3 (solceller), Philips Lighting (LED-armaturer), Alfred Priess A/S (belysningsmaster), Henning Larsen Architects. Fra DTU deltager forskere fra DTU Fotonik, DTU Vindenergi og DTU Elektro.

Forfattere



Peter Behrendorff Poulsen, projektleder, DTU Fotonik. ppou@fotonik.dtu.dk

Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab. red@aktuelnat.au.dk

Videre læsning

Den selvforsynende gadelampe er på vej. DTU Dynamo nr. 33, p28-31.



På forsøgsmarken ved Risø DTU blev der testet fire forskellige kommercielle "hybridsystemer" til belysning. Det er vidst ingen overdrivelse at sige, at de æstetiske kvaliteter lader noget tilbage at ønske, hvis de skulle bruges til gadebelysning på danske veje.

Foto: Mikael Schlosser



Forfattere



Jacob Becker,
Center manager,
Institut for
Kemi, Aarhus
Universitet.
jbecker@chem.au.dk



Per R. Christensen, ph.d.-studerende,
Institut for
Kemi, Aarhus Universitet.
prc06@inano.au.dk



Anders J. Mørup, ph.d.-studerende,
Institut for
Kemi, Aarhus Universitet.
andersjm@chem.au.dk



Thomas H. Pedersen,
ph.d.-studerende,
Institut for Energiteknik,
Aalborg Universitet.
thp@et.aau.dk

Verden over er forskere og ingeniører i fuld gang med at opfinde og udvikle alternative energikilder for på én gang at sikre fremtidig velstand til klodens voksende befolkning og et miljø, der er til at leve i.

Det, vi skal finde alternativer til, er de fossile brændstoffer – kul, olie og naturgas – som der er begrænsede mængder af, og som udleder klimagassen CO₂. Mest presserende er olien, som vores samfund har været baseret på de sidste 150 år. Dels fordi den sandsynligvis slipper op først, og dels fordi fossil råolie er grundlaget for næsten alle flydende brændstoffer, vi kender – fx benzin, diesel og jet-brændstof.

Der er derfor et stort behov for at finde alternative væskeformige brændstoffer, der vil kunne behandles og tankes på samme måde som dem, vi bruger i dag, og som er kompatible med motorerne i vores biler, skibe og fly.

En del af erstatningen for råolien skal findes i bioolie – altså råolie lavet ud fra biomasse såsom halm, træ eller affald. Og her har et forskningssamarbejde mellem Aarhus Universitet, Aalborg Universitet og det private firma Steeper Energy ApS skabt særdeles lovende resultater ved at udvikle og optimere en fremstillingsproces kaldet Hydrothermal Liquefaction.

HTL, som det forkortes, kan omdanne mange forskellige biomasser til bio-råolie. Der er tale om en såkaldt 2. generations biobrændselsteknik, hvilket betyder at den kan bruge affald som input. Kloakslam, gylle, husholdningsaffald, kompost og spild-

Det er (s)tanken der tæller. Måske kan grisegødning ikke fyldes direkte i bilens brændstoftank, men det kan nemt og hurtigt omdannes til diesel. De tre unge forskere fra to universiteter er med i forskningsprojektet: fra venstre er det Anders Mørup, ph.d.-studerende fra Institut for Kemi på Aarhus Universitet, Ionela Grigoras, kandidatstuderende fra Institut for Energiteknik på Aalborg Universitet og Thomas H. Pedersen, ph.d.-studerende fra Institut for Energiteknik på Aalborg Universitet.

Foto: Lars Kruse

produkter fra mejeribranchen, slagterier og lignende kan dermed forvandles fra miljøbelastninger til en værdifuld energiressource.

To problemer

For at kunne omdanne biomasse til en erstatning for fossil olie skal to problemer overvindes: Først og fremmest er biomasser som halm, træ og diverse affald vanskelige at fylde i bilens brændstoftank. De faste biomasser skal derfor gøres flydende.

Det andet problem er biomassens sammensætning, som er meget forskellig fra råolie. Biomolekyler indeholder fx store mængder oxygen, typisk 30-40 % af de tilstedeværende atomer, hvorimod råolie stort set udelukkende består af hydrogen og carbon. Det har betydning for, hvor godt et brændstof brænder, og dermed hvor egnet det er i en forbrændingsmotor. Et højere oxygenindhold medfører lavere brændværdi – den frigivne energi pr. kg afbrændt masse. For råolie er brændværdien ca. 45 MJ/kg, mens den for biomasser typisk er 10-20 MJ/kg eller endnu mindre, afhængigt af hvor højt vandindholdet er. Vejen til et godt bio-brændstof er derfor betinget af, at man kan "opkoncentrere" den kemiske energi ved at eliminere oxygen fra biomassen.

Kloakslam, gylle, husholdningsaffald, kompost og spildprodukter fra fødevarebranchen kan med nøje kontrolleret trykkogning forvandles til bioolie af så høj kvalitet, at det kan indgå som værdifuld erstatning for fossil olie.

Fra affald til olie:

Kør på gylle, flyv på græs

Avanceret trykkogning

HTL imødekommer disse udfordringer. Processen går dybest set ud på at trykkoge biomassen i vand sammen med forskellige katalysatorer. Biomassen kværnes fint og blandes op med vand og katalysatorstoffer, hvorefter opslæmningen pumpes ind i HTL-reaktoren, der typisk opererer ved 350-400 °C og et tryk på 250-350 atm. Her nedbrydes biomassen til mindre molekyler, som re-polymeriserer til langkædede molekyler, bl.a. fedtsyrer, der minder meget om alkanerne i fossil olie.

Undervejs elimineres oxygen, der forsvinder fra biomassen i form af CO₂ og H₂O. Hovedparten af den kemiske energi i biomassen – op til 80-90 % – ender hermed i oliefasen. Undervejs dannes også hydrogen, metan og andre gasser, små mængder mineralsalte og aske samt en række vandopløselige forbindelser i vandfasen. Vandet kan siden hen enten genbruges i processen (iblandet ny biomasse) eller oprenses og ledes bort.

Procesbetingelserne på 350-400 °C kan lyde af meget, men da varmeenergien genanvendes i anlægget ved termisk udveksling mellem indløbet (der skal opvarmes) og udløbet (der skal nedkøles) er det reelle energi-input langt mindre. Det høje tryk betyder også, at kogefænomenet undertrykkes. Resultatet er en stor energibesparelse, da der ikke er nogen fordampningsvarme at tage hensyn til. Energiomkostningen ved at etablere det høje tryk er beskeden.

Udenfor reaktoren skilles olien uden videre fra vandfasen og kan opsamles. HTL-processen forvandler altså biomassen direkte til bio-råolie i ét

processtrin, og fjerner samtidig mere end halvdelen af den oxygen, der fandtes i den rå biomasse. Dette giver HTL-råolien en brændværdi på ca. 35 MJ/kg – ikke helt på højde med fossil råolie, men dog en væsentlig forøgelse i forhold til den rå biomasse.

Herefter kommer en anden vigtig faktor i spil: HTL-råoliens sammensætning er nemlig så tilpas tæt på almindelig råolie, at den vil kunne viderebehandles i vores samfunds eksisterende raffinaderier. Det første trin, der kaldes for opgradering, eliminerer den sidste oxygen fra HTL-olien og gør den sammenlignelig i brændværdi med fx Nordsø-olie.

De næste trin afhænger af flere forskellige parametre, alt efter hvad olien skal bruges til – fuldstændig lige som det er tilfældet med råolie. Det drejer sig om fx viskositet, densitet, svovlindhold, destillationskarakteristik osv. Alle påvirkes de af den kemiske sammensætning, og de har afgørende betydning for, om olien kan afsættes.

Både ved Aarhus Universitet og Aalborg Universitet forsker vi i opgraderingskoncepter, der resulterer i såkaldte drop-in brændstoffer – altså brændstoffer, som fysisk og kemisk er sammenlignelige med og umiddelbart kan erstatte de kendte fossile brændstoffer. Vi fokuserer især på brugen af de katalysatorer, som i forvejen bruges til processering af fossil råolie, fordi det i fremtiden vil gøre det muligt at udnytte raffinaderiernes eksisterende infrastruktur og viden til HTL-olie.

Det grønne perspektiv

Alt i alt har HTL-processen tre store fordele: Den er meget energi-effektiv, den producerede råolie

kan viderebehandles med eksisterende teknologi, og processen er virksom overfor mange forskellige biomasser.

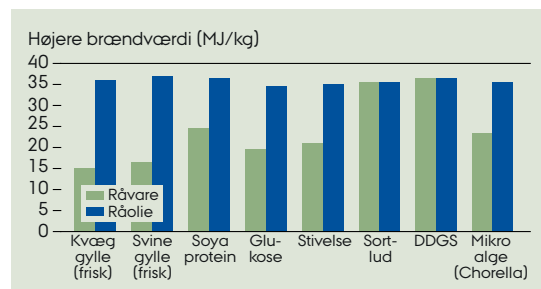
Når processen kan bruges til så mange typer biomasser, er det først og fremmest fordi HTL bruger vand som procesmedium. Dermed er processen ligeglad med, om biomassen indeholder vand i forvejen – og det er netop hvad langt det meste biomasse på vor klode gør – ikke mindst blandt affalds-biomasser som gylle, kloakslam, husholdningsaffald, kompost osv. Det at kunne processere dem direkte uden først at skulle fjerne vand er en stor energimæssig gevinst.

Samtidig adresseres et af de største problemer med biobrændstoffer, nemlig forsynings-sikkerheden; det at man skal have biomasse nok. Hele tiden. Den høje energiomsætning betyder samtidig, at meget lidt af biomassen "går til spilde".

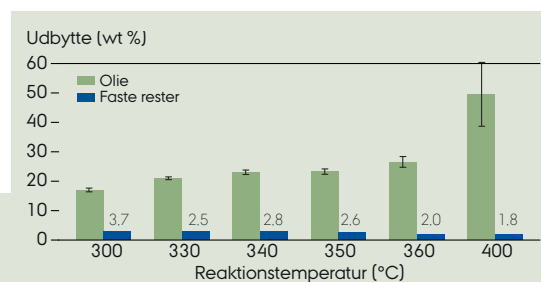
Et nyt bioenergi-eventyr?

Aarhus Universitet og Aalborg Universitet samarbejder om udviklingen af HTL i Danmark, i fællesskab med virksomheden Steeper Energy ApS, der har stor erfaring på området. I Aarhus undersøger man på Institut for Kemi indvirkningen af katalysatorer, sammensætning af henholdsvis olie-

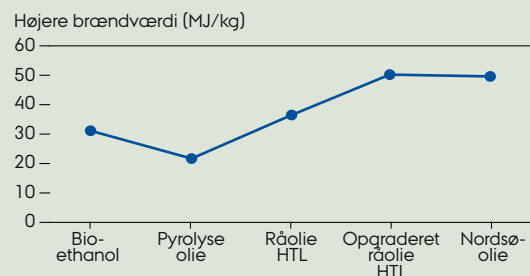
og vandfasen, samt hvordan procesparametrene spiller ind på fx olieudbyttet. Institut for Agroøkologi arbejder med udvikling af "energi-afgrøder", dvs. plantesorter, der kan skaffe os mere biomasse-råstof, uden at det går ud over miljøet og landbrugsproduktionen. Og Institut for Ingeniørvidenskab er ved at forberede konstruktion af et større HTL-anlæg.



HTL-processen kan omdanne mange forskellige slags biomasse til olie, der har en langt højere brændværdi end biomassen har som råvare. ("Sort lud" er et restprodukt fra papirproduktion.)



Udbytte ved forskellige temperaturer i HTL-reaktoren: Udbyttet øges betydeligt ved superkritisk temperatur mellem 360 og 400 °C.



Kemikere på Aarhus Universitet har målt brændværdien på HTL-olie baseret på kloakslam før og efter opgradering (men inden raffinering), og sammenlignet med andre brændsler. Bemærk, at brændværdien for den opgraderede HTL-olie er sammenlignelig med råolie fra Nordsøen.

Oxygen og brændværdi

Biomasser indeholder store mængder oxygen. Det er ikke helt overraskende, idet stofopbygning for planter er baseret på fotosyntese, der forløber under CO₂-optag fra luften. Planternes vej gennem fødekæden videregiver de oxygenrige biomolekyler til dyr og mennesker.

De fossile brændstoffer, vi kender fra benzintanken, indeholder næsten ingen oxygen. De består overvejende af lange kædeformede molekyler kaldet alkaner, som er opbygget af grundstofferne carbon og hydrogen. Et par eksempler fra almindelig diesel er *nonadekan* (C₁₉H₄₀) og *heneicosan* (C₂₁H₄₄) samt visse lidt mere "forgrenede" alkaner, fx 2, 6, 10, 14-tetramethyl hexadekan (C₂₀H₄₂). Ideelt set skal fremtidens bio-brændstoffer gerne have tilsvarende sammensætning.

Om Vand

Kogepunktet af en væske afhænger af det omgivende tryk.

Når vand normalt koger ved 100 °C er det betinget af, at lufttrykket er 1,0 atmosfære (ca. det samme som 1 bar). På toppen af Himalaya, hvor lufttrykket er lavere, koger vand allerede ved ca. 75 °C, og ved et tryk på mere end 221 bar koger vand slet ikke. Dette tryk kaldes "det kritiske tryk". Der findes ligeledes en "kritisk temperatur", der for vand ligger på 374 °C. Ved højere temperaturer siger man, at vand er i det *superkritiske domæne*, hvorimod lidt lavere temperaturer (~ 300-374 °C) kaldes for det *nærkritiske domæne*.

Vandets egenskaber ændres markant ved disse betingelser. I det nærkritiske område stiger ionproduktet – vandets spontane spaltning til syre (H⁺ ioner) og base (OH⁻ ioner) – med en faktor 1000. Vand bliver altså på én gang både en syre og en base. I det superkritiske område falder vandets dielektriske konstant (der udmåler den elektriske polarisering af vandmolekylet) til næsten nul, hvilket betyder, at vandet bliver upolært og frit blandbart med oliestoffer, hvorimod ioniske stoffer (salte, mineraler, etc.) fældes ud. Superkritisk vand har også en forøget evne til at understøtte radikal-reaktioner, hvilket menes at være værdifuldt for HTL.

Sådan et er man allerede ved at etablere ved Aalborg Universitet, hvor Institut for Energiteknik i maj 2013 holder indvielse på et HTL-anlæg i pilot-skala, der kan producere 1-2 liter olie pr. time. Dette er nok til, at man kan afprøve olieprodukterne i rigtige motorer og turbiner. Anlægget skal samtidig danne testgrundlag for videre opskalering af produktionen. Målet er fuld-skala anlæg, der kan producere flere tusinde tønder bio-råolie om dagen. Sådanne anlæg kræver store investeringer, og det ingeniørmæssige grundlag skal derfor være veletableret. Forhåbningen på den lange bane er at udbrede HTL til at håndtere input fra fx rensningsanlæg, offentlige såvel som industrielle, samt overskudsbio-masse fra landbrug og skovbrug.

Start i det små

På Institut for Kemi ved Aarhus Universitet opererer man med en langt mindre produktion. Institutets første HTL-reaktor stod færdig i 2008 – et lille, specialbygget apparat (se foto), der blev konstrueret som del af et ph.d.-forløb under vejledning og initiativ af professor Bo Brummerstedt Iversen. Reaktoren producerer 4-5 gram bio-råolie pr. eksperiment. Den er designet til at understøtte stramt definerede procesbetingelser, navnlig temperatur, tryk og opholdstiden i reaktoren. Herudover er den konstrueret til, at hvert forsøg består af adskillige eksperimenter.

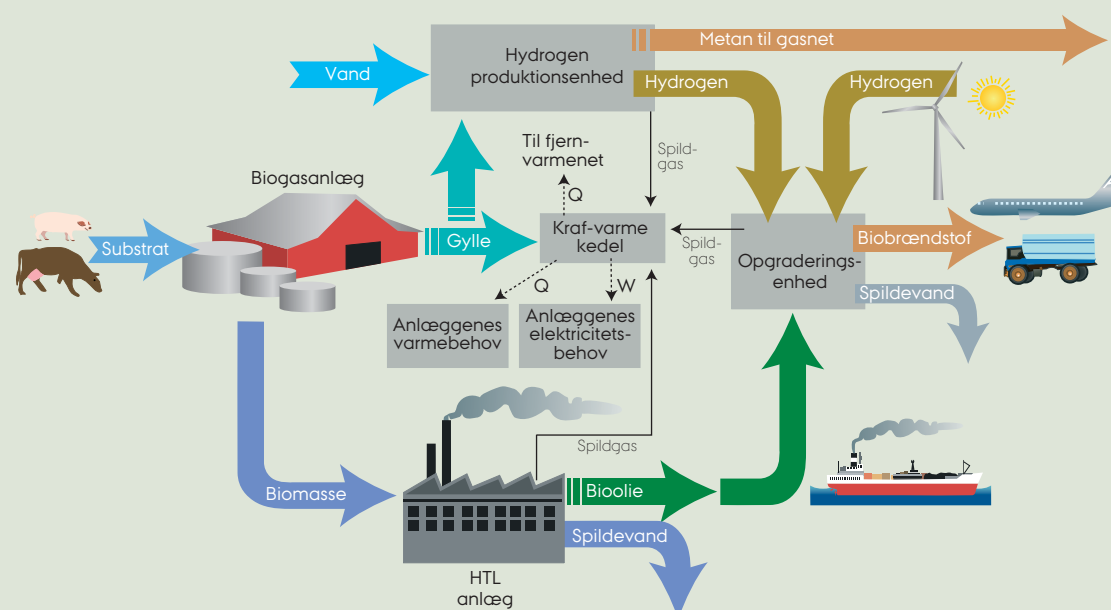
Denne tilgang er unik inden for HTL-forskning, og den forøger nøjagtigheden af resultaterne voldsomt. Det kommer til stor gavn, fx når man skal studere olieudbyttet under et givent sæt procesbetingelser. Blandt de igangværende studier har man fx undersøgt biomassen DDGS (forkortelse af Dried Distiller's Grains with Solubles), et restprodukt fra bioethanol-industrien. De århusianske forskere kunne her vise, at man opnår en utvetydig forøgelse af olieudbyttet ved at køre HTL-processen ved 400 °C (figur 1). Hidtil har man i HTL-forskningen ellers foreskrevet en procestemperatur på 340-360 °C. Vi er nu i gang med at undersøge, hvor godt resultatet overføres til andre biomasser.

I et andet projekt har man undersøgt effekten af katalysatorer på HTL-processen, specifikt en heterogen katalysator af materialet zirkoniumdioxid (ZrO_2), som tidligere har været anvendt i HTL-forskningen. Det lykkedes her at kvantificere olieudbytte og -sammensætning så godt, at man kunne konkludere, at ZrO_2 faktisk ikke havde nogen mærkbar effekt. Det er gode nyheder, for HTL-anlæg er teknisk enklere at konstruere, når der ikke skal tages hensyn til heterogene katalysatorer.

Hydrogenering

Termisk opgradering er kun én mulig teknik til viderebehandling af HTL-råolie. Man har i Aarhus og Aalborg også lavet proof-of-concept eksperimenter med en alternativ og lidt mere krævende teknik, der kaldes for hydrogenering. Hydrogenering er en katalytisk varmebehandling i hydrogen-atmosfære, som meget effektivt fjerner oxygen fra råolien og driver dens kemiske sammensætning markant i retning af fossil råolie.

Metoden vurderes at være særligt velegnet som basis for fremtidig produktion af jetbrændstof, som er det mest krævende af alle brændstoffer. Her er der ikke plads til de små udsving i bio-oliens sammensætning, der altid vil forekomme ved brug af forskellige typer biomasse, og som kan bestå selv efter almindelig opgradering. Dagligdagens motorer er heldigvis ikke nær så krævende.



Figuren viser, hvordan et HTL-anlæg kan være en naturlig del af et større system til bæredygtig energiforsyning.



START. LÆS. LÆR. OPLEV. TÆNK HVIS DET ER DIG

Husk ansøgningsfrist den 5. juli kl. 12

BLIV INSPIRERET TIL ET STUDIELIV PÅ AARHUS UNIVERSITET

Scan koden med din mobil
eller læs mere om bacheloruddannelser på AU
www.bachelor.au.dk



Foto: Søren Kjeldgaard, AU-foto



Optimering

Ved Institut for Energiteknik på Aalborg Universitet er prof. Lasse Rosendahl og hans gruppe også vældigt interesseret i procesbetingelsernes indvirkning på slutproduktet, samt den kemiske sammen sætning af de biomasser, man bruger som råstof.

Som nævnt udmærker HTL sig ved evnen til at processere meget forskelligartet biomasse, og HTL-råolien besidder i alle tilfælde væsentligt højere brændværdi end råstof-biomassen. Biomasse består imidlertid ofte af en blanding af mange forskellige slags affaldsprodukter, og det er vigtigt at forstå interaktionen mellem de forskellige bestanddele. Slagteri- og mejerifald er eksempelvis meget forskellig fra skov- og landbrugsaffald, og derfor vil de optimale procesbetingelser for højt udbytte og god produkt-kvalitet naturligvis variere.

Jo bedre vi forstår samspillet mellem biomasse-be-standdele, jo mere præcist vil vi kunne styre HTL-processen og fx imødegå sæsonvariationer i biomasse fra landbruget.

Indsigt i biomassernes sammenhæng vil også gøre det muligt at identificere synergier med andre industrielle processer, fx eksisterende biogasanlæg. For at opnå et højt gasudbytte i sådanne anlæg, eksempelvis fra gylle, er afgasningsprocessen ofte meget lang (typisk 3 uger), hvilket kræver store afgasnings-tanke og dermed store anlægskostninger. Her kunne man i stedet afgasse gyllen over kortere tid og derefter behandle den i en HTL-proces til pro-duk-tion af bio-råolie. Den metan, der produceres

under afgasningen, vil med fordel kunne bruges til senere hydrogenering af HTL-råolien. Alternativt kan råolien anvendes direkte som eksempelvis bun-ker-brændstof til skibe.

Hvad så nu?

Hvad fremtiden bliver for HTL afhænger af interessen blandt investorer såvel som politikere. I både Aarhus og Aalborg er optimismen stor omkring perspektiverne, og man har forventning om det første industrielle HTL-anlæg allerede inden for 5 år. Teknologien er der, det kan bevises at den virker, og med det nye anlæg i Aalborg forventes det ingeniør-mæssige grundlag at blive bragt helt på plads inden for 1-2 år.

I Aarhus er man ved at bygge en ny HTL-reaktor på Institut for Kemi, og der er planer om et større anlæg ved universitetets afdeling i Foulum. På begge universiteter fortsætter undersøgelserne af, hvilke parametre der for hver enkelt type biomasse giver de bedste betingelser for at danne olie frem for vand-opløselige restprodukter eller askestoffer. ■

Biomasse

I EU's VE direktiv defineres "biomasse" som den bioned-brydelige del af produkter, affald og restprodukter af biologisk oprindelse fra landbrug (herunder vegetabiliske og animalske stoffer), skovbrug og tilknyttede industrier, herunder fiskeri og akvakultur, samt den bionedbryde-lige del af industriaffald og kommunalt affald.

Om procesparametre

De tre vigtigste procesparametre i HTL er temperatur, tryk og opholdstiden i reaktoren. Især opholdstiden er ofte diskutabel, når man kigger i den videnskabelige litteratur på området; et flertal af forskergrupper benytter sig af reaktorer, der har ret langsom opvarmning og nedkøling.

Det giver problemer. Hvis man fx forestiller sig en opvarmingsfase på to timer, er det svært at sige præcist hvad 15 minutter ved procestemperaturen egentlig betød – særligt, hvis man ydermere skal vente 4 timer på, at reaktoren atter er kølet ned (så den kan åbnes). Hvad som helst kan være sket undervejs. Herimod glimrer reaktorerne i Aarhus og Aalborg ved at kunne opvarme og nedkøle sit procesme-dium på få sekunder.

HTL-reaktor på Aarhus Universitet. Den lille specialbyggede HTL-reaktor i kælderens under Institut for Kemi på Aarhus Universitet stod færdig i 2008 og kunne producere 4-5 gram bio-råolie pr. eksperiment – hvilket var rigeligt til at dokumentere, at teknikken virker.

(Foto: Anders J. Mørup)



Statistikere afgjorde

2. verdenskrig

I begyndelsen af 1943 begyndte de allierede at bruge en matematisk formel til at bestemme antallet af tyske tanks. Formlen blev afgørende for krigens udfald.

Forfatter



Asger Hobolth,
Center for
Bioinformatik
Aarhus

Universitet
asger@birc.au.dk

Detaljeret kendskab til fjendens styrker og svagheder kan være afgørende for udfaldet af en krig. Efterretningstjenesternes analyser bruges til at bestemme taktikken. Men hvad gør man, hvis efterretningstjenestens rapporter er utroværdige?

De britiske og amerikanske efterretningstjenester arbejdede under 2. verdenskrig intensivt på at finde ud af så meget som muligt om den tyske krigsmaskine. Hvor mange tanks havde de? Hvor mange og hvilke steder producerede de? Og hvad med geværer, lastbiler, bomber og flyvemaskiner?

Et af de effektive "våben" man tog i brug i den forbindelse var statistik.

Det tyske Tank-problem

Et berømt eksempel på statistikens succes under krigsførelse er kendt som "Det tyske tank-problem", og handler om produktionen af de legendariske Panter-tanks, der regnes for 2. verdenskrigs bedste kampvogne. Panteren kunne modstå granatangreb, var hurtig og mobil, og havde stabiliserende kanonsigte, så skydning var mulig under kørsel. Panteren skabte rædsel hvorend den kom frem.

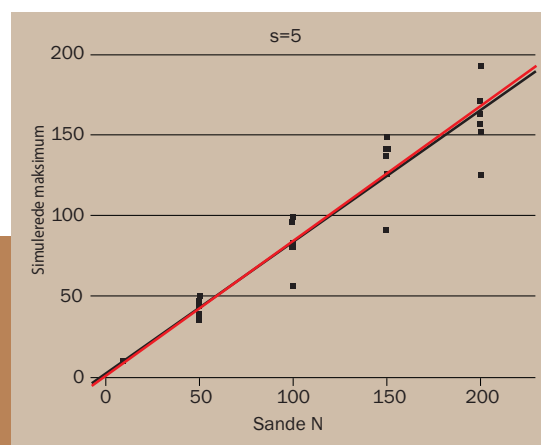
I begyndelsen af 1943 var det åbenlyst, at efterretningstjenesternes rapporter var utroværdige. Hemmelige forbindelser, spioner og forhør af krigsfanger gav en masse modstridende oplysninger. Nogle oplysninger var uden tvivl korrekte, men det var umuligt at skelne de sande rapporter fra de mange rygter og falske udtalelser.

Simulationsbaseret bestemmelse af sammenhæng mellem observeret maksimum m og sande populationsstørrelse N . Hvert punkt angiver maksimum for en simuleret stikprøve af størrelse $s = 5$ og med forskellige værdier af N . Den sorte linje er en lineær regression mellem punkterne. Den røde linje angiver den teoretiske sammenhæng.

Sådan kan du løse det tyske tank-problem

På Aktuel Naturvidenskab hjemmeside kan du finde uddybende materiale, der giver en matematisk begrundelse for de allieredes formel for antal tanks. En alternativ og mere simpel løsning er ved at kombinere lineær regression og simulation.

I figuren har jeg simuleret en stikprøve af størrelse $s = 5$ for forskellige værdier af N (10, 50, 100, 150, 200). For hvert N har jeg simuleret 6 stikprøver. På figuren har jeg markeret maksimum for hver stikprøve (de sorte cirkler). Ved at lave en lineær regression kan man nu finde sammenhængen mellem maksimum og det sande N (den sorte linje).



I figuren har jeg også indtegnet den teoretiske lineære sammenhæng bestemt ved

$$m = \frac{s}{s+1} N,$$

altså linjen med skæring i nul og hældning $s/(s+1) = 5/6$ (den røde linje).

De allierede havde dog en central oplysning, der kunne bruges til at estimere antallet af tanks: Med vanlig tysk grundighed var alle tyske tanks forsynet med et serienummer og en angivelse af den måned, de var produceret.

Statistikere ramte plet

Så hvad er den månedlige produktion af tyske tanks N når man har indfanget fem tanks med serienumrene 4, 30, 121, 140 og 7? De allierede statistikere overvejede forskellige scenarier for fordelingen af de observerede serienumre, og bestemte sig for formelen:

$$N = m + \frac{m}{s},$$

hvor s er stikprøvestørrelsen og m er stikprøvens maksimum. I vores eksempel er $s=5$ og $m=140$, så

$$N = 140 + \frac{140}{5} = 140 + 28 = 168.$$

Statistikere beskrev formelen ved "højeste tal + gennemsnitlige mellemrum i sekvensen".

Lige før D-dag estimerede de allieredes statistikere ved hjælp af formelen, at den tyske produktion af de berygtede Panther-tanks var 270 om måneden i foråret 1944. Efter krigen blev det fastslået, at det faktiske tal var 276. De allierede styrker var således godt advaret før invasionen i Frankrig den 6. juni 1944 – og sådan gik det til, at statistikere havde en afgørende finger med i spillet om udfaldet af 2. verdenskrig!

Undgå at blive vildledt

For 10 år siden invaderede amerikansk ledede tropper Irak. Storbritannien og Danmark bidrog med styrker i krigen. En afgørende begrundelse for krigen var, at Irak havde masseødelæggelsesvåben og et hemmeligt atomprogram.

Vi ved nu, at begrundelsen hvilede på et forkert grundlag. Som denne historie viser, er det sværere at blive vildledt med et godt datamateriale og en fornuftig statistisk metode.

Det gælder også inden for mange andre områder – fx mit eget forskningsområde bioinformatik, der i løbet af de sidste 10-15 år er blevet et af de dominerende områder for udvikling og anvendelse af matematisk statistik.

Læs videre

Davies, Gavyn. How a statistical formula won the war. The Guardian, 20 July 2006.

Ruggles, R. og Brodie, H. (1947). An Empirical Approach to Economic Intelligence in World War II. Journal of the American Statistical Association., Vol. 42, pp. 72-91.

Wikipedia: German Tank Problem.

YouTube video om de skræmmende Panther Tanks: <http://www.youtube.com/watch?v=qoyW83fdJ4&feature=fvwr>



Panther tanks gøres klar til at sendes til fronten i 1943.

Foto: Allgemeiner Deutscher Nachrichtendienst - Zentralbild (Bild 183).

Menneskets

Datering af kildekalk viser hvilken vej det moderne menneske vandrede ud af Afrika, og giver støtte til teorien om, at skovrydningen i Europa for 6-7000 år siden fjernede nedbøren i Sahara.

Studier af havaflejringer og de grønlandske is-kerne har givet gode oplysninger om klimaændringerne de sidste 140.000 år, og dermed oplyst os om, hvordan klimaforholdene har udviklet sig omkring Arktis og i oceanerne.

Derimod er vor viden om, hvordan klimaet ændrede sig på de dele af landjorden, hvor menneskets udvikling fandt sted, stadig meget usikker. I de senere år er det blevet mere og mere klart, at klimaviden fra polerne og oceanerne ikke altid afspejler klimaændringer på landjorden. Det tilsyneladende stabile klima de sidste 10.000 år, som is-kernerne vidner om, står i kontrast til fx de geologiske og arkæologiske vidnesbyrd, vi har fra Danmark og fra det østlige Sahara. Udviklingen de sidste ca. 40.000 år er nogenlunde kendt, da aldersbestemmelser ved hjælp af kulstof-14 (^{14}C) har gjort det muligt at sammenstille en lang række data for denne periode. Men ældre lag kan ikke bestemmes med ^{14}C -metoden, og andre aldersbestemmelsesmetoder har hidtil været meget usikre. Kontinuerte og uforstyrrede lagserier som indlandsisen og havaflejringer giver i sig selv sikre bestemmelser af den relative alder, idet lagene bliver yngre opover. Men sådanne lag er sjældent tilstede der, hvor mennesket udviklede sig.

Foto: Thor-Bjørn Ottosen.

Omkring Kharga-oasen i Egypten findes der i lighed med Yabroud i Syrien aflejringer af kildekalk, hvor der er gjort mange fund af palæolitisk redskaber.

Sidste år har forskere fra Roskilde universitet i samarbejde med forskere fra Assiut Universitet påbegyndt indsamling af prøver til datering med OSL.

Foto: Niels Schröder.



udviklingshistorie begravet i kildekalk

Imidlertid har grundvandskilder ofte været aktive i lange perioder, hvorved tykke lag af kildekalk er blevet aflejret. Disse kilder har i tørre områder gennem historien været foretrukne jagtmarker og bopladser, da dyrene er blevet tiltrukket af vandet. Jægerne efterlodte stenredskaber har så gjort kildekalkaflejringerne til formidable arkæologiske arkiver.

Kildekalk fortæller historie

Et sådant formidabelt arkæologisk arkiv findes i det nu krigshærgede Syrien, nærmere betegnet ved landsbyen Yabroud. Her findes en 10 meter tyk aflejring af kildekalk, som allerede i 1930'erne blev undersøgt af arkæologen Alfred Rust.

Ved Institut for Miljø, Samfund og Rumlig Forandring, Roskilde Universitet har vi for nylig med støtte fra Det Danske Institut i Damaskus, undersøgt lokaliteten igen.

I disse kildekalkslag er der fundet spor efter 25 palæolitisk kulturer i form af flinteværktøj. Kulturlagene følger dog ikke direkte over hinanden, da der ind imellem "kulturlagene" er lag uden fund af flinteværktøj.

OSL-metoden

Optisk Stimuleret Luminescens (OSL) er en dateringsmetode, der bygger på, at der i krystalgitteret på begravene korn af kvarts opbygges energi, som skyldes baggrundsstrålingen. Når en prøve så belyses i laboratoriet med UV-lys, frigøres den oplagrede energi (som luminescens), og jo længere, kvartskornet har været begravet, jo større luminescens. Metoden kan med stor pålidelighed datere kvartskorn, der har været begravet i op til 200.000 år.

Kildekalk

Kildekalk er porøs kalksten udfældet ved kildevæld med kalkholdigt vand. Kalken har sin oprindelse i de omliggende landskabers jordlag, hvor den er opløst af CO₂. Kildekalkaflejringerne kan også indeholde materiale fra de oprindelige jordlag udvasket af kilderne, som kan ud-erodere nicher, og materiale fra det derved skabte udhæng kan falde ned i kildekalken.

Da lokaliteten ligger 1.420 meter over havet, og der i dag ofte er sne om vinteren, formodes det, at den under sidste istid kun har været beboet om sommeren, og kun i de varmeperioder, som man også kan se i de grønlandske is-kerner. Vi har således analyseret pollen i kalklagene, der viser lag, hvor det har været væsentligt koldere end i dag, vekslede med lag, hvor klimaet har lignet det nuværende.

Da aflejringerne er ældre end 40.000 år har det ikke været muligt at datere dem ved hjælp af ¹⁴C-metoden.

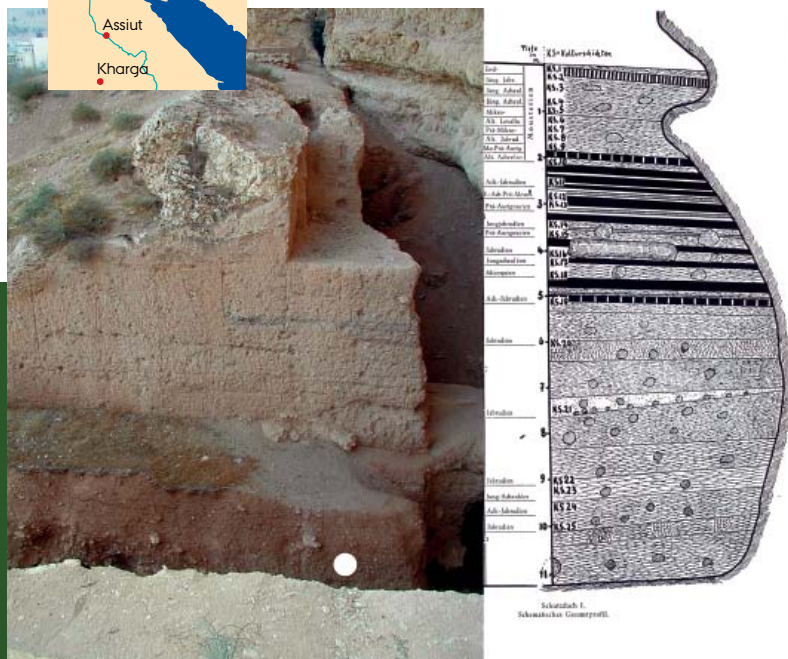
Forfatter



Niels Schrøder, docent, Institut for Miljø, Samfund og Rumlig Forandring (ENSFAC), Roskilde Universitet
schroeder@ruc.dk



Kortet viser placering af Yabroud og Kharga oasen, hvor udgravningerne har fundet sted.



Udgravningen af Yabroud I. Til højre på fotoet ses det øverste af Rusts ialt 11,5m dybe udgravning og yderst til højre den tilsvarende del af Rusts originale skematiske profil. Bemærk sandlaget omkring KS 21 (KulturSchicht 21), som Rust kalder "Flugsand" (flyvesand) svarende til den hvide prik på fotoet. En OSL-datering har givet en meget pålidelig alder af dette lag på 150.000 år. Specielt i lagene tættest på klippesiden fandt Rust en mængde redskaber – i alt mere end 10.000.

Imidlertid har Nordisk Laboratorium for Luminescensdatering på Risø under ledelse af professor Andrew Murray udviklet en ny dateringsmetode, Optisk Stimuleret Luminescens (OSL), som kan datere kvartskorn med stor pålidelighed for aldre på op til 200.000 år. Kvartskorn bliver i disse områder let fanget i kildekalkaflejringerne og kan også forekomme som egentlige lag af flyvesand i aflejringerne.

Menneskets historie i Levanten

Ifølge "Out of Africa teorien" udviklede det anatomisk moderne menneske sig i Afrika syd for Sahara for omkring 200.000 år siden. For omkring 100.000 år siden udvandrede mennesket til Levanten (=landene ved Middelhavets østkyst) for derfra at sprede sig til resten af verdenen. Siden årtusindskiftet har denne teori fået afgørende støtte af genetiske studier af nulevende mennesker.

De arkæologiske vidnesbyrd fra Levanten har hidtil kun vist spor af neandertalere fra perioden 55.000-30.000 år siden, som derefter er blevet afløst af det anatomisk moderne menneske med såkaldt Aurinac-kultur. Aurinac-kulturen er karakteriseret af forekomst af lange flintestykker, der kan bruges til at save i ben mv. (side 29).

Imidlertid fandt Rust i Yabroud I i kulturlag 5, 7, 9, 13 og 15 – mellem lag, der stammede fra mere primitive kulturer – værktøj, som han mente havde samme rod som Aurinac-kulturen (da disse også viste tilstedeværelse af "save"). Disse lag er det nu ved hjælp af OSL-metoden blevet muligt at datere, og det ældste har vist sig at være ca. 100.000 år gammelt.

Det tyder på, at efter det anatomisk moderne menneske kom til Levanten, er der fulgt en periode (fra ca. 100.000-55.000 år siden), hvor der ved Yabroud-kilden skiftevis har levet moderne mennesker og mere primitive mennesker. I den efterfølgende periode mellem 55.000 og 30.000 år siden synes neandertalerne at have været helt dominerende. Endelig omkring 30.000 år bliver neandertalerne erstattet

af det anatomisk moderne menneske, der denne gang kommer til området fra nord, fra Asien/Europa.

Da det anatomisk moderne menneske udvandrede fra Afrika for 100.000 år siden var hudfarven sikkert mørk. Men da det for ca. 30.000 år siden kom til Levanten fra nord, har de formentlig udviklet den lysere hud, der ses i dag.

Da mennesket bosatte sig i nordligere egne med mindre soleksponering end ved ækvator, blev der selekteret for varianter i pigmentgenerne til sikring af en højere syntese af vitamin D i huden. Menneskets pigmenteringsgrad skal ses som en tilpasning til miljøet, og der er enighed om, at den naturlige selektion klart er den væsentlige faktor bag variationen i pigmenteringsgraden hos mennesket

Regntider i Sahara

Det kan være vanskeligt at forestille sig, hvordan det lykkedes mennesker, der havde udviklet sig som jægere på den østafrikanske savanne, at passere ørkenerne i Nordafrika. Imidlertid er der meget, som tyder på, at Nordafrika ikke var så tør dengang. Sahara var formodentlig betydeligt mere regnfuld for omkring 120.000 år siden, så det anatomisk moderne menneske kunne følge vildtet gennem Sahara på dette tidspunkt.

Traditionelt har det været antaget, at Nilen var hovedkorridoren for dyrene og menneskets vandringer ud af Afrika. Der er dog ikke gjort fund, der kan bestyrke denne teori. Imidlertid er der i Sahara fundet fossiler af fisk, krokodiller, flodheste og mennesker.

Tidligere troede man, at der under de perioder, hvor Nordeuropa havde istider, var pluvialtider (regntider) i Sahara, mens mellemistiderne var så tørre som det ses i dag. Men ¹⁴C-dateringer har vist, at store dele af det østlige Sahara var befolket af såvel vandkrævende dyr som mennesker for mellem 10.000 og 6.000 år siden, altså i begyndelsen af den nuværende "mellemistid".

Fra denne periode er der også fundet kildekalk i Egyptens vestlige ørken. Derudover er der fundet meget kildekalk og mange palæolitiske redskaber, der er ældre. Det har dog hidtil været meget usikkert at bestemme alderen heraf, men vi må gå ud fra, at disse aflejringer stammer fra tidligere mellemistider, og ud fra studier af havaflejringer ud for Libyen tror vi, at der også har været megen nedbør i Sahara i sidste mellemistid for omkring 120.000 år siden. Så vi forventer, at det vil være muligt at datere en stor del af områdets aflejringer af kildekalk til sidste mellemistid.

Yabroud I boplads. Stedet under klippeudhængen (som er skabt ved kildeerosion) har i perioden fra for 200.000 til 40.000 år siden med mellemlig været beboet af palæolitiske jægere.

Under udhængen er der i kildeaflejringerne (opblandet med nedstyrede sten) fundet 25 kulturlag. I perioden 40.000-20.000 år siden flyttede kilderne (og bopladsen) til den nærliggende Yabroud II boplads, hvor yderligere 10 kulturlag er fundet.

Foto: Niels Schrøder.

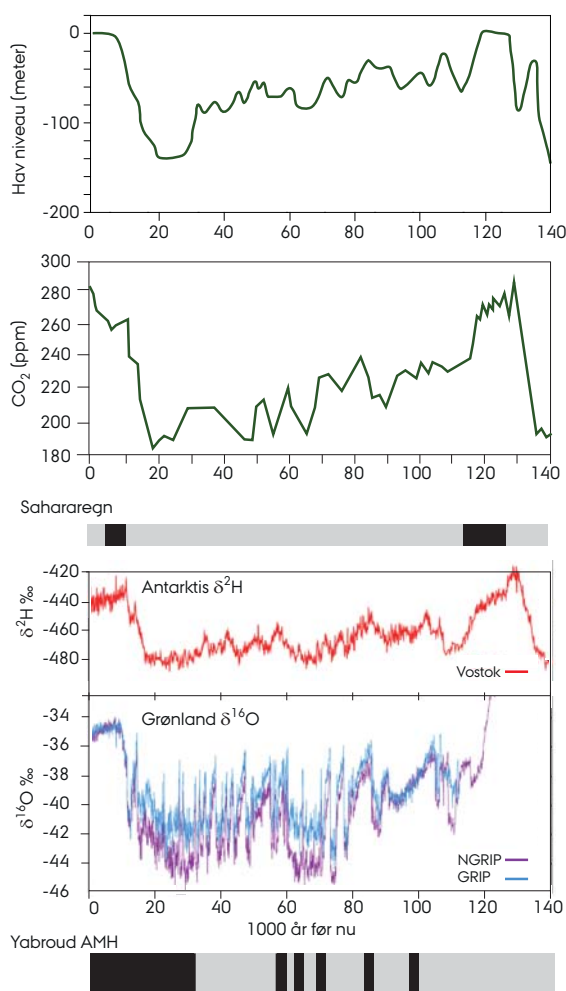


Klimaændringer

Klimadata fra kontinuerlige is- og havbundskerner har givet et ganske klart billede af klimaudviklingen i havene og ved polerne de sidste 140.000 år. De to øverste kurver viser variationer i havniveau og atmosfærens CO_2 -indhold, mens de nederste kurver viser ændringer i isens isotopssammensætning og dermed indirekte lufttemperaturen over henholdsvis Antarktis og Grønland. Tidligere troede man, at der under de perioder, hvor Nordeuropa havde istider, var pluvialtider (regntider) i Sahara. Men ^{14}C -dateringer har vist, at store dele af det østlige Sahara var befolket af såvel vandkrævende dyr som mennesker for mellem 10.000 og 6.000 år siden, altså fra begyndelsen af den nuværende "mellemitid". Vi ved, at da regntiden i Sahara stoppede for 6.000 år siden, skete der samtidigt et fald i temperaturen i Danmark på ca. 2°C .

Bemærk, at iskernedata fra Grønland viser store klimaskift under sidste istid, mens tilsvarende ikke ses i de antarktiske data. De grønlandske varmeperioder har kunnet spores flere steder i Europa og vore undersøgelser har også nu vist dem i de Syriske bjerge.

Undersøgelserne i Yabroud (nederst) har yderligere gjort det muligt at datere, hvornår anatomisk moderne mennesker (AMH) fra Afrika, kommer igennem Levanten på deres vej mod Asien, Europa og Australien. Midt på figuren er angivet de formodede længder af regntider i Sahara. Det vil være målet for nye undersøgelser at aldersbestemme sidste mellemistids regntid nøjagtigt og datere flinteredskaber lavet af anatomisk moderne menneske fundet i kildekalk i Sahara.



Skovrydning og ørkendannelse

I dag er en af anbefalingerne for at nedbringe atmosfærens CO_2 -indhold at genplante skove. Forskere ved Harvard University har beregnet konsekvenserne af genplantning af en del af de skove i den tempererede zone, som stenaldermenneskene afbrændte fx i Europa for 6.000-7.000 år siden for at få græs til deres husdyr.

Beregningerne viste, at en sådan skovgenplantning nok vil sænke atmosfærens CO_2 -indhold, men plantningen af "mørk" skov vil samtidig øge absorptionen af solens energi og ændre atmosfærens cirkulationsmønster, så vi vil få en temperaturstigning i Europa på ca. 2°C , mens det østlige Sahara og Arabien vil kunne forvente en ny regntid.

Vi ved, at regntiden i Sahara sidst stoppede for omkring 6.000 år siden, og da vi i danske aflejringer fra mellem 7.000 og 6.000 år siden finder bl.a. den varmekrævende hornnød og pelikaner, ved vi også, at temperaturen i Danmark dengang, før skovene blev fældet, var ca. 2°C varmere end i dag. Det er derfor nærliggende at antage, at det var skovrydningen for mellem 7.000 og 6.000 år siden, der var skyld i klimaskiftet.



Stenaldermenneskene afbrændte store skovarealer og mange steder genplantes i dag skovområder, for at nedbringe atmosfærens indhold af CO_2 . Beregninger har vist at plantes "mørk skov" vil det samtidig øge absorption af solens energi og derved ændre Europas temperaturer, som vil stige med ca. 2°C .

Foto: Jami Dwyer

FLYT VERDEN

**STYR INDHOLDET OG
VÆLG RETNINGEN!**

**Uddannelserne på
School of Engineering and Science på
Aalborg Universitet giver kvalifikationer
til at forstå, udvikle og præge verden.**

Byggeri og anlæg

Energi

Fysik og Nanoteknologi

Globale forretningssystemer

Biologi, Kemi, Miljø og Bioteknologi

Maskin og produktion

Matematik

Teknoantropologi

LÆS MERE PÅ
FLYTVERDEN.DK



AALBORG UNIVERSITET





I 1930 tog den arkæologistuderende elektriker Alfred Rust (1900-1983) på en 8 måneder lang cykeltur fra Hamburg til Levanten for at foretage arkæologiske udgravninger i Palæstina. Uvant med diverse amøber i Tyrkiet måtte han indlægges på den danske hospital i An Nabk omkring Damaskus. Da han blev rask – og havde fået hospitalets røntgenudstyr til at fungere – fortalte de danske læger ham om palæolitiske redskaber, der var fundet ved den nærliggende landsby Yabroud. Det medførte, at Rust opgav udgravningerne i Palæstina og i perioden 1930-33, med base på det danske hospital, udgravede bopladserne Yabroud I-III.



Flintblade med "takkede" kanter, kan bruges til at save i ben, hjortetak og elfenben. Denne innovation, som det moderne menneske bragte ud af Afrika, kan have været afgørende i kampen om vildtet, da spyd med spidser af tak eller ben kan kastes mod vildtet. De tungere flintespyd har været brugt som lanser.

Den nederste række af "save" repræsenterer såkaldte Aurinac-kulturer 20.000-30.000 år gamle fra Yabroud II. Den øverste række er fra Præ-Aurincian kulturer fra "kultur-lag 15" ved Yabroud I, som har en alder på ca. 100.000 år – dvs. de stammer fra de første anatomisk moderne mennesker, der kom til området fra Afrika (fra Rust 1950).

En måde at verificere dette på, vil være at bestemme længden af regntiden i Sahara i sidste mellemistid for omkring 120.000 år siden. Hvis denne regnperiode var væsentligt længere end den sidste (for mellem 10.000 og 6.000 år siden), kan vi nok gå ud fra, at det er mennesket, der er ansvarligt for det klimaskifte, der skete for omkring 6.000 år siden.

Arkæologi og grundvand

Sidste år er forskere fra Roskilde Universitet i samarbejde med forskere fra Assiut Universitet i Egypten begyndt indsamling af prøver af kildekalk til OSL-aldersbestemmelse omkring Kharga-oasen i Egypten. Øst for den nuværende oase findes en dominerende terrænskrænt, hvor der er tykke lag med kildekalk med indlejrede sandlag, og her som ved Yabroud er der gjort mange fund af palæolitiske redskaber.

For nylig har egypterne anlagt en jernbane ind til Kharga-oasen, som gennemskærer dette kildekalk-område. Hermed er aflejringerne flere steder blevet gennemskåret, og det er blevet muligt at optegne profiler af de enkelte kildekalklag og de indlejrede sandaflejringer, hvorved det bliver muligt at bestemme de relative aldre af lagene.

I lavningen ved Kharga findes der jord, det er muligt at opdyrke med kunstvanding, og da der under området findes et stortartetisk grundvandsmagasin (dvs. et grundvandsmagasin under tryk), har man etableret mange nye gårde her.

Forskerne fra Assiut Universitets afdeling for jord og vand, som assisterer de nye landbrug med råd om kunstvanding mv., ser dog med bekymring på, at trykket i grundvandsmagasinet falder. Det betyder større elregning til pumperne, men betyder det også, at magasinet vil tørre ud? For at svare herpå er det vigtigt at kende alderen af grundvandet, og vide hvordan nedbørshistorien for området har været.

I forbindelse med det internationale projekt G@GPS (Groundwater@Global Paleoclimate Signals), som vil pågå de næste 3 år, vil Roskilde Universitet og Nordisk Laboratorium for Luminescensdatering forsætte samarbejdet med Assiut Universitet for at klarlægge områdets nedbørshistorie. Samtidig vil vi prøve at give svar på de grundlæggende arkæologiske spørgsmål, beskrevet ovenfor. ■

Læs mere

Jensen, Peter K. A.: Da mennesket blev menneske. Gyldendal 2012
Rust, A.: Die Hölenfunde von Jabroud (Syrien). Karl Wachholtz Verlag. Neumünster. 1950

Schröder N, Jensen G M, Limborg M (2012): Groundwater spring deposits as proxy for interstadials in the Levant: The chronology and climate history of the Palaeolithic cultures from Yabroud (Syria) Quaternary International. Volume 257, 20 April 2012, Pages 27-33

Swann A L S, Fung I Y and Chiang J C H (2012): Mid-latitude afforestation shifts general circulation and tropical precipitation PNAS 2012 109 (3) 712-716

Grise med modernmærkekræft

Mange grise udvikler modernmærkekræft, og forandringer i huden hos grisen ligner meget hvad man ser hos mennesker. Derfor studerer vi grise for at blive klogere på de mekanismer, der ligger bag udviklingen af sygdommen og kroppens reaktion på den.

Forfatter



Anette Blak Grossi,
dyrlæge og
ph.d.-

studerende ved Institut
for Veterinær Sygdoms-
biologi
Københavns Universitet
blak@sund.ku.dk

Modermærkekræft er en af de hyppigste kræftformer hos unge mennesker. Lidelsen forekommer også i dyreverdenen – selv hos svin, der jo ellers slægtes i en meget ung alder. Da grisen på mange måder ligner os mennesker, er det muligt, at vi ved at studere modernmærkekræft hos svin kan lære mere om årsagerne til, at sygdommen opstår hos mennesket og give ideer til udvikling af diagnostiske tests og behandlingsmetoder.

I mit ph.d.-projekt anvender jeg antistoffer mod kræftceller i pigmenterede svulster hos slagtesvin til at undersøge, om kræftcellerne spredte sig til de lymfeknuder, der dræner det område af huden, hvor grisen har svulster. Antistofferne anvendes også til at få en bedre forståelse af hvilke celler og mekanismer, som fører til, at pigmenterede svulster hos svin ofte svinder ind igen uden nogen form for behandling.

Modermærkekræft hos menneske og gris
Kræft opstår, når kroppens celler begynder at dele sig uhæmmet, hvorved der dannes svulster (tumorer). Ved modernmærkekræft udgår tumoren fra hu-

dens pigmentceller (melanocytter), som danner det mørke pigmentstof melanin.

Mørkfarvede plamager i huden og andre organer kan ses i forbindelse med medfødte eller erhvervede ansamlinger af normale pigmentholdige celler i vævet. Denne tilstand kaldes melanose og er vigtig at adskille fra melanomer, som består af ansamlinger af forandrede og abnorme pigmentceller i vævet. Hos svin inddeler man melanomer i godartede og ondartede melanomer, mens man hos mennesker kalder godartede melanomer for nævi og ondartede melanomer for malignt melanom eller modernmærkekræft.

Hos mennesker er ultraviolet bestråling fra sollys og solarier den væsentligste årsag til modernmærkekræft. Hos svin derimod er der ikke påvist nogen sammenhæng mellem ultraviolet bestråling og udviklingen af melanomer, men visse svineracer er arveligt disponerede for at udvikle melanomer, og for eksempel udvikler 85 % af forsøgsgriseracen Sinclair minipig ondartede melanomer inden for de første leveår.



Grise benyttes i stigende grad som modeller for sygdomme hos mennesker. Ved at anvende dyremodeler kan man få en mere detaljeret viden om, hvorfor og hvordan sygdomme opstår, og man kan teste behandlingsmetoder, som man ikke har mulighed for at teste på mennesker.

Hvad grisene kan lære os

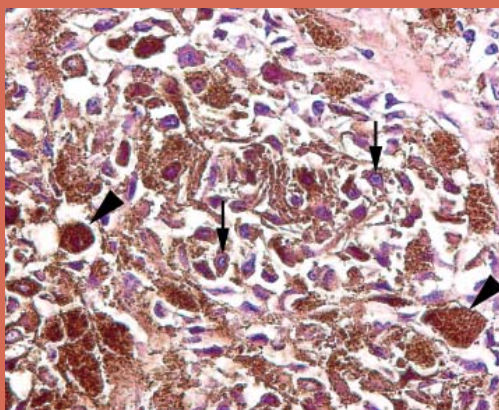
Ifølge dyrlæge Heidi Hansen fra Danish Crown i Skærbæk diagnosticeres der på dette slagteri, hvor der slægtes 4.400 søer og orner per uge, i gennemsnit 10 svin om måneden med melanomer. Af disse er ca. 20 % ondartede, hvilket vil sige, at der er fundet metastaser (spredning) af kræftceller fra kræftkilden i huden til andre organer. I langt de fleste tilfælde ses metastaserne som sortfarvede svulster i den lymfeknude, som dræner det område af huden, hvor grisen har ondartede melanomer. Hvis melanomet er ondartet og kræftceller er spredt til andre organer, skal kød og organer fra dyret destrueres. Det er derfor vigtigt at sikre korrekt og effektiv diagnosticering af pigmenterede læsioner i hud og lymfeknuder hos svin, således at slagtekroppe ikke kasseres unødigt, men også for at sikre, at kød fra kræftsyrge dyr ikke havner i supermarkedets kølediske.

Derudover er det interessant, at både godartede og ondartede melanomer hos Sinclair minipig, men også hos konventionelle svineracer, i langt de fleste tilfælde svinder ind igen eller helt forsvinder inden for et år efter deres opståen. Undersøgelser peger på, at dette sker, fordi grisens immunceller angriber tumorcellerne. Hvis man kan opnå en detaljeret viden om denne immunologiske respons hos grisene, kan det måske udnyttes til nye metoder til behandling af modernærkekræft hos mennesker. Ondartede

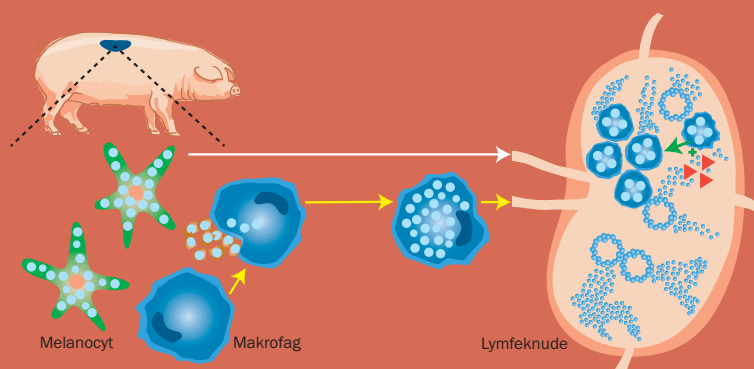


Øverst: Ondartede melanomer (modernærkekræft) hos svin er ofte kraftigt pigmenterede (sortfarvede) og kan have forskellig størrelse og form. I dette melanom fra huden af en orne ses lyse områder, der kan være opstået ved, at immunceller såsom makrofager har angrebet og nedbrudt de pigmenterede tumorceller.

Nederst: Lymfeknude fra slagtesvin med melanom på ryggen. I den ene halvdel af lymfeknuden ses sortfarvning, som kan være tegn på at tumorceller fra melanomet har spredt sig til lymfeknuden.



Mikroskopbillede af det sortfarvede område på øverste foto. Det ses, at området indeholder tumorceller (pil), men også store celler som ligner makrofager (pilehoved).



Illustrationen viser tumorceller (stjerneformede med store pigmentkorn) og makrofager (runde med bønneformet kerne) som er celler, man typisk ser i melanomer i huden hos svin. Oftest ses, udover melanomet i huden, også sortfarvning af den regionale lymfeknude. Et af formålene med ph.d.-projektet er at finde ud af, hvilke celler som forårsager sortfarvningen:

- 1) Der kan være tale om metastaser fra melanomet i huden, dvs tumorceller, som har spredt sig fra melanomet i huden via lymfen til lymfeknuden (hvid pil).
- 2) De sortpigmenterede celler i lymfeknuden kan være makrofager, der har nedbrudt og optaget tumorceller som led i et immunologisk respons rettet mod tumorcellerne i melanomet (gul pil).
- 3) Hvis melanocytter normalt findes i lymfeknuden, kan vækstfaktorer (røde trekanter), som eventuelt også stimulerer normale melanocytter i huden, få disse celler til at dele sig, hvorved man ser sortpigmentering af lymfeknuden (grøn pil).

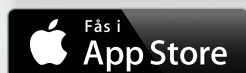
NY VIDEN FRA DTU PÅ DIN IPAD

Det nye nummer af DTU's magasin Dynamo er udkommet og kan hentes til iPad i App Store.

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.

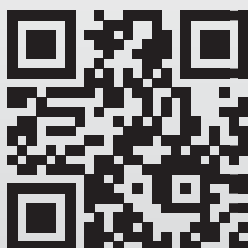


SÅDAN FÅR DU DYNAMO PÅ DIN IPAD

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



melanomer fra svin ligner nemlig dem, man finder hos mennesker, både når man ser på dem med det blotte øje og ved undersøgelse i mikroskop.

Når man studerer grisenes immunologiske reaktioner er en konkret udfordring, at det er nemt at forveksle tumorceller med en type af immunceller, som kaldes makrofager. Makrofager bliver nemlig mørkfarvede og kommer til at ligne de pigmenterede tumorceller, efter at de har angrebet og optaget disse. Da melaninholdige makrofager kan findes i både huden og i lymfeknuder hos svin med melanomer har formålet med vores undersøgelse primært været at finde en metode til entydigt at kunne skelne melaninholdige makrofager fra abnorme melanocytyter (tumorceller). Dermed kan vi blive i stand til at forklare den sortfarvning af lymfeknuder, som man ser hos næsten alle svin med melanomer, uanset om de er godartede eller ondartede.

Celler kigges i kortene

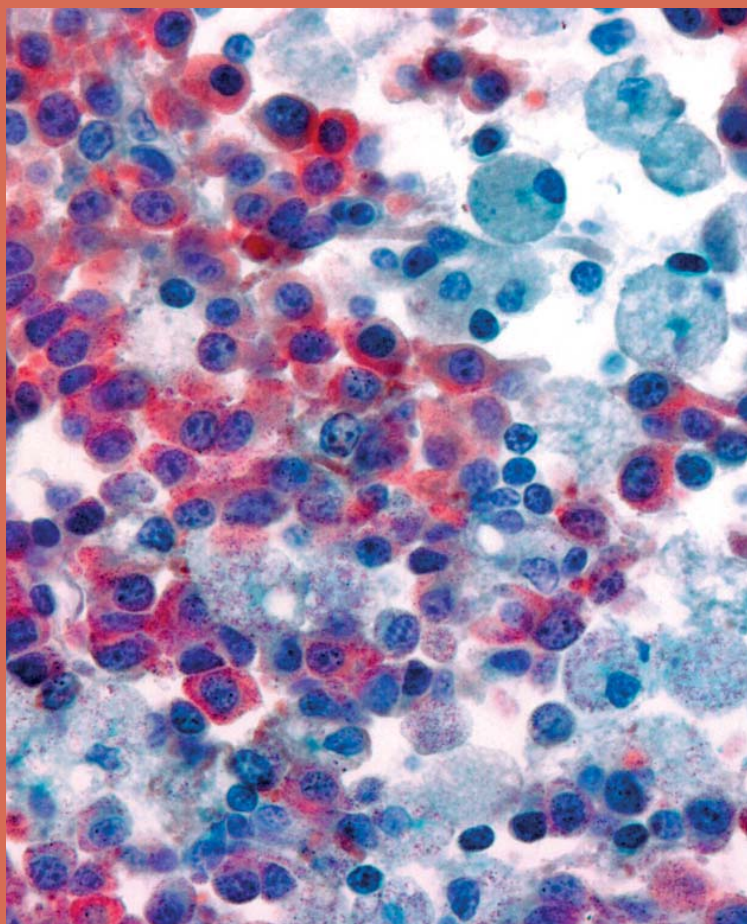
Til undersøgelsen af melanomer og sortfarvede lymfeknuder anvender vi immunhistokemi, som er en metode til at identificere forskellige celletyper. Ved at benytte antistoffer (immunoglobuliner), der genkender og binder til proteiner, som findes på enten tumorceller eller makrofager, kan vi skelne mellem de to celletyper, fordi celler, hvortil et antistof er bundet, farves for eksempel røde.

Elektronmikroskopi, hvor man kan forstørre den enkelte celle så meget, at man kan se dens opbygning i detaljer, viser, at de celler, som man hidtil har troet var makrofager, rent faktisk er tumorceller, som har ændret udseende og derved er kommet til at ligne makrofager.

I et forsøg, hvor man har taget kræftceller fra et ondartet melanom hos en gris og fået dem til at vokse i et reagensglas, har man vist, at kræftcellerne med tiden udvikler sig til makrofag-lignende celler, der ikke har samme evne til at dele sig og overleve som de oprindelige kræftceller.

Altså peger vores undersøgelser på, at når melanomer hos svin forsvinder igen af sig selv, skyldes dette ikke udelukkende, at immunceller angriber kræftceller, men også, at kræftceller ændrer karakter til mindre aggressive celletyper.

I modsætning til ondartede melanomer hos svin, svinder modermærkekraft hos mennesker meget sjældent ind af sig selv. Næste skridt vil derfor være at undersøge, hvad det er for faktorer (fx hormoner) hos grisen, som påvirker kræftcellerne til at ændre karakter til mindre aggressive celletyper, da man måske kan bruge dette stof til at bremse udviklingen af sygdommen hos patienter med modermærkekraft. ■



Tumorceller er muterede celler og kan derfor have et udseende, som afviger meget fra de normale celler. Tumorceller i melanomer kan komme til at ligne andre celletyper, og det kan derfor være nødvendigt at anvende immunhistokemi, hvor antistoffer genkender og binder til specifikke proteiner på tumorcellerne. Her er der brugt antistoffer mærket med rødt farvestof til at identificere tumorceller (melanocytyter) og skelne dem fra makrofager, hvortil antistoffer mærket med blåt farvestof har bundet sig.

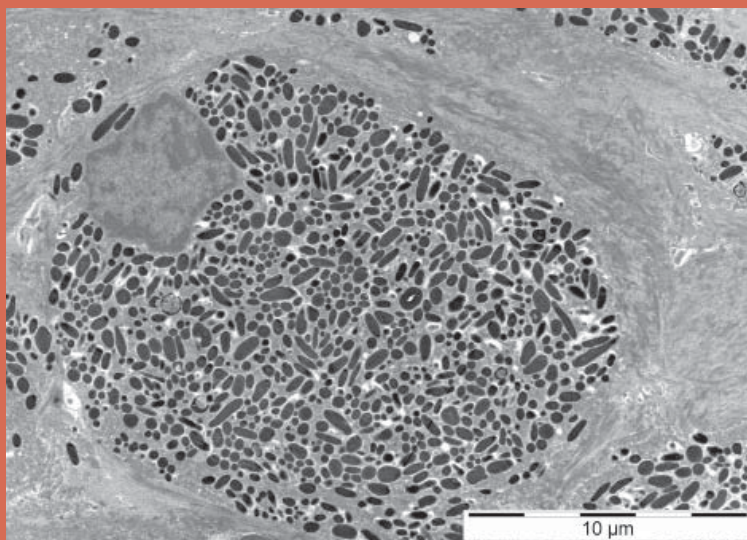


Foto taget med elektronmikroskop af en pigmentcelle (melanocyt). Man kan genkende melanocytyter på, at disse er fyldt med mørke korn (melanosomer), som indeholder farvestoffet melanin.

Yderligere læsning

Smith, S.H.; Goldschmidt, M.H.; McManus P.M.: A Comparative Review of Melanocytic Neoplasms. *Journal of Veterinary Pathology*. 2002 vol. 39 s. 651-678.



Regnbueørreden

– ekspert i

Forfattere



Thea Christensen, b.sc.-studerende, Institut for Biokemi og Molekylærbiologi. thech11@student.sdu.dk



Jeanette Højrup Søholm, b. sc.-studerende. Biologisk institut.



Sebastian Theodor Hansen, b.sc.-studerende, Biologisk institut.



Steffen S. Madsen, Lektor, lic. scient. Biologisk institut. steffen@biology.sdu.dk

Alle ved Syddansk Universitet, Odense.

Regnbueørreden kan som en af de relativt få fiskearter i verden leve i både fersk- og saltvand. De fysiologiske mekanismer bag denne tilpasningsevne er et interessant forskningsemne..

Regnbueørreden (*Oncorhynchus mykiss*) er blandt den cirka ene procent af alle fiskearter i verden, der kan tilpasse sig stærkt varierende saltkoncentrationer. Dette er en fordel for ørreden, da den kan udnytte alternative fødeområder, hvis konkurrencen bliver for hård i det ferskvandsvandløb, den er udklækket i.

Regnbueørredens tilpasningsmuligheder benyttes også i kommercielt opdræt, idet fiskene vokser hurtigere og smager bedre, hvis de tilbringer de første 1-2 leveår i ferskvand og herefter flyttes til saltvand i ca. et halvt år inden slagtning. Tilpasningen til de nye omgivelser er dog meget energikrævende og stiller store krav til ørredens kropsfunktioner. For at fysiologiske processer i fisken kan forløbe uforstyrret, må den opretholde en stabil vand- og saltbalance, uanset saltkoncentrationen i det omgivende vand. Derfor må regnbueørreden aktivt optage salt i ferskvand, mens den må udskille salt, når den lever i havet. Omstil-

lingen mellem de to fysiologiske tilstande er en kritisk proces, og regnbueørreden må investere stofskifteenergi for at opretholde den indre balance og sikre overlevelse. Denne fascinerende omstillingsproces ligger langt ud over, hvilke muligheder mennesker har for miljøtilpasning.

Vores nysgerrighed på ørredens rejse fra bækken til havet motiverede os til at tage emnet op i vores 1. års projekt, som led i vores naturvidenskabelige uddannelse på Syddansk Universitet.

Fokus på Na^+/K^+ -pumpen

I det eksperimentelle arbejde overførte vi regnbueørreder fra ferskvand til saltvand for at undersøge hvilke forandringer, der ligger til grund for fiskenes unikke omstillingsmuligheder. Efter overflytningen, kommer fisken midlertidigt ud af balance. Både saltkoncentration i blodet og vandindholdet i kroppen undergår en drastisk forandring, der

Nogle fisk kan tilpasse sig ekstremt forskellige miljøforhold. Regnbueørreden kan gennem sit liv vandre mellem ferskvand og saltvand og sætter derved sine fysiologiske mekanismer under pres. Fiskens overlevelse afhænger af dens evne til at gennemgå en omstilling, der indebærer en udskiftning af salttransporterende proteiner i gællen.

miljøtilpasning

kulminerer efter ca. 24 timer. Ændringerne overstiger langt hvad noget pattedyr ville kunne overleve, men hos ørreden sætter forstyrrelsen gang i et tilpasningsforløb, som bringer salt- og vandbalancen i orden igen efter ca. syv dage. Omstillingsforløbet inkluderer mange fysiologiske, cellulære og molekylære forandringer i fisken. Vi har fokuseret på at undersøge de molekylære forandringer der medfører tilpasning. Her viste det sig, at en ændring i et bestemt protein påvirker hele organismen, idet dets regulering er medvirkende til, at fisken kan tilpasse sig vidt forskellige miljøforhold.

Nøglen til regnbueørredens tilpasningsevne skal findes i funktionen af specielle proteiner, der er til stede i gællen. Transporten af salt varetages af et samarbejde mellem flere membranproteiner i forskellige kombinationer og finder sted i gællens yderste, tynde cellelag. En præcis regulering af disse proteiner gør det muligt for ørreden at leve i de meget skiftende saltholdigheder, den udsættes for gennem sit liv. Et af de vigtigste proteiner i salttransporten er Na^+/K^+ -pumpen. Na^+/K^+ -pumpen består

af flere forskellige proteinkomponenter kaldet subunits (side 37). Disse subunits fabrikeres og samles til funktionelle pumper i specielle celler kaldet chloridceller, der varetager salttransporten over gællen.

Hver subunit i Na^+/K^+ -pumpen findes i flere forskellige udgaver kaldet isoformer. Vores opmærksomhed blev fanget af isoformerne af en bestemt subunit i Na^+/K^+ -pumpen kaldet alfa (α). Mængden af de to specifikke isoformer, α_{1a} og α_{1b} , ændres markant under saltvandstilpasning, og netop derfor valgte vi at undersøge dem nærmere. Vi satte os for at finde ud af, hvilken rolle de spiller i salttransport i både saltvand og ferskvand.

Lille ændring med stor betydning

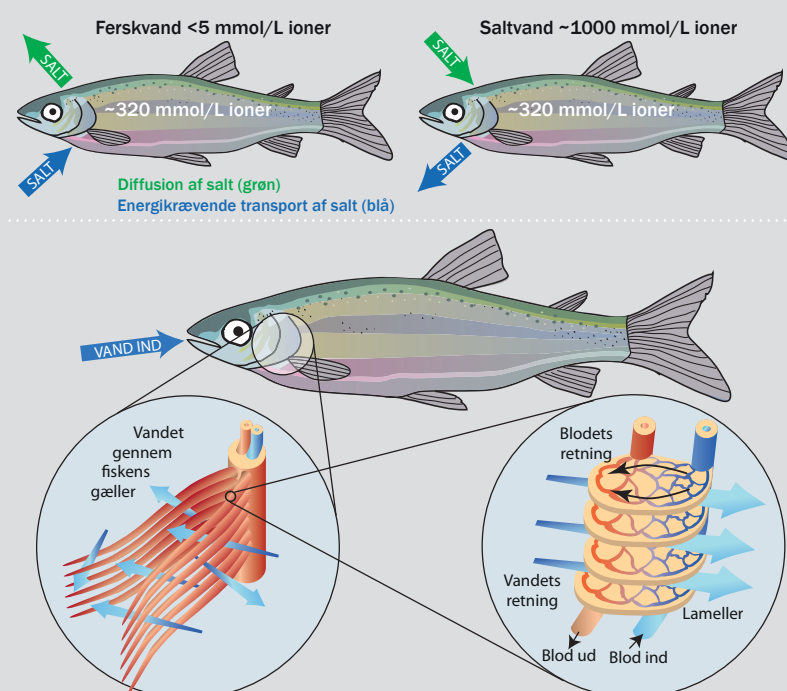
I laboratoriet undersøgte vi i et intensivt projektforløb over tre uger, hvordan udtrykket af de to α -isoformer ændrede sig i løbet af syv dage, når vi flyttede regnbueørreder fra ferskvand til saltvand.

Vore undersøgelser viste, at α -subuniten i de fleste Na^+/K^+ -pumper i gællen udskiftes fra en form til en

Regnbueørredens tilpasning

Gællen er fiskens gasudvekslingsorgan. Her sker udvekslingen af O_2 og CO_2 ind og ud af fisken ved diffusion. En effektiv diffusion opnås ved, at cellegaget, der adskiller det omgivende vand og blodkarrene, er meget tyndt og har et stort overfladeareal. Denne egenskab af gællen bevirker dog, at andre små molekyler og ioner som fx salt (NaCl) og vand også let trænger gennem cellerne. Når det sker, vil sammensætningen af det indre miljø forandres i ugunstig retning. Fisk, der lever i ferskvand, vil miste salt ved diffusion, fordi koncentrationen af salt i ferskvand er lavere end i fiskens indre væsker. For at opretholde en stabil koncentration på ca. 320 mmol/L må fisken kompensere ved at optage salt fra vandet.

Når fisken lever i saltvand, er problemstillingen modsat. Her vil salt diffundere ind over gællen, fordi koncentrationen i det omgivende vand er højere end inde i fisken. Fisken kompenserer her ved at udskille salt til vandet. Når fisken flytter sig fra ferskvand til saltvand, må den altså skifte fra at optage salt til at udskille salt. Begge processer er energikrævende og foregår i gællen.



anden og reguleres nøje under fiskens saltvandstilpasning. Dette kunne vi vise ved både at måle mængden af mRNA, der koder for de to isoformer α_{1a} og α_{1b} , og mængden af protein af de to isoformer. Vore resultater blev bekræftet af forsøg, hvor vi ved hjælp af fluorescerende antistoffer, der binder sig til udvalgte proteiner, kunne dokumentere hvor de to isoformer var lokaliseret i gællen (se boksen næste side).

Ud fra vore forsøg kan vi se, at isoformen α_{1a} primært findes i gællen i ferskvand, mens α_{1b} overtager funktionen i saltvand. Der sker med andre ord et skift i gællens relative mængder af de to isoformer i Na^+/K^+ -pumpen. Dette tyder på, at α_{1a} har en betydning for fiskens optagelse af salt i gællen, mens α_{1b} spiller en rolle i saltudskillelse. Vi anser omstillingen for at være af stor vigtighed, fordi Na^+/K^+ -pumpen er den grundlæggende drivkraft for henholdsvis optagelse og udskillelse af salt i fisken.

Næste skridt i forskningen

Projektet har givet os et indblik i nogle af de mekanismer, der kan sættes i gang, når et dyr udsættes for en miljøforandring, og som kan ende med en tilpasning til de nye forhold. Vi har set, at en forholdsvis lille ændring i et bestemt proteins ud-

tryk i et bestemt organ, kan få store konsekvenser for en hel organismes overlevelsessevne. Samtidig har vi også set, at svar på ét spørgsmål ofte giver anledning til nye spørgsmål og afprøvning af nye hypoteser.

Celler bruger generelt ikke unødigt energi på at fabricere nye proteiner, og derfor må der være en grund til, at udtrykket af α_{1a} og α_{1b} ændres, afhængigt af hvilket miljø, fisken befinder sig i. Det næste skridt i forskningen kunne derfor være at finde ud af, om der er forskel på de to isoformers struktur og funktion. Vores hypotese vil være, at α_{1a} har egenskaber der egner sig bedst til *saltoptagelse*, mens α_{1b} er favorabel for *saltudskillelse*.

Udover at projektet gav os en masse håndværksmæssig kunnen og indsigt i den videnskabelige proces, var det for os studerende stærkt motiverende at kunne producere resultater, der var direkte brugbare i den igangværende forskning på Biologisk Institut Syddansk Universitet.

Og så var det en ekstra cadeau, at vore resultater blev belønnet med en pris for bedste poster ved en festlig postersession, hvor samtlige ca. 100 projekthold på Det Naturvidenskabelige Fakultet præsenterede resultaterne af deres projekter. ■

ANNONCE

Christian leger med lys og lyd på gymnasiet

Ingeniørstuderende Christian Buhl Sørensen delte sin glæde for optik, nanoteknologi og akustik, da han holdt oplæg på Gymnasiet HTX Skjern.

Elevernes opmærksomhed var fanget, da Christian Buhl Sørensen fortalte om, hvordan man omsætter de matematiske og fysiske teorier til praktiske løsninger.

"Det er fantastisk at have en idé om, hvordan apparaterne fungerer og derefter selv kunne fremstille dem," siger Christian, der viste eleverne et interferometer, han selv har udviklet, og som fx kan bruges til at analysere lys.

Han læser til civilingeniør i Fysik og Teknologi og var på Gymnasiet HTX Skjern for at fortælle interesserede elever om sin ingeniøruddannelse på Syddansk Universitet i Odense, hvor han studerer optik, nanoteknologi og akustik.

Christian er bl.a. dybt fascineret af laserteknologien og dens muligheder:

"En forskergruppe hos os arbejder med raman spektroskopi, hvor man rammer fx kød med en laserstråle og får et præcist 'fingeraftryk' af molekylerne på overfladen uden, at det påvirker eller ødelægger molekylerne. I fremtiden vil man i supermarkedet med en scanner straks kunne se, hvad fx frugter og grønsager er sprøjtet med. Det er jo ret godt," siger han.

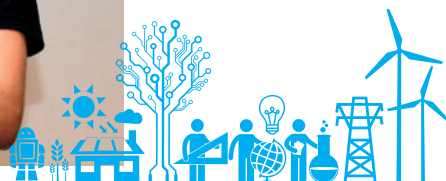
Belinda Sandvang Jensen går i 3g og overvejer

en fremtid som kemi-ingeniør. Hun benytter lejligheden til at få Christian til at forklare om Michelsons Interferometer, som indgår i et eksamensprojekt. Det demonstrerede han bl.a. for hende ved hjælp af et cykelhjul.

Vil du også have en ingeniørstuderende ud og holde et oplæg? Så kontakt Dorte Frølund Kromann, dfk@tek.sdu.dk eller tlf. 6550 7522

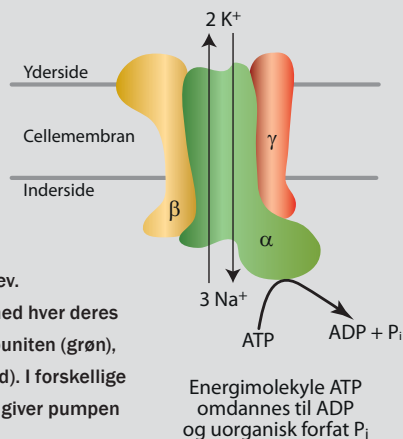


Ingeniørstuderende Christian Buhl Sørensen holdt oplæg om optik, nanoteknologi og akustik for gymnasieeleverne.



Sådan er Na⁺/K⁺-pumpen opbygget

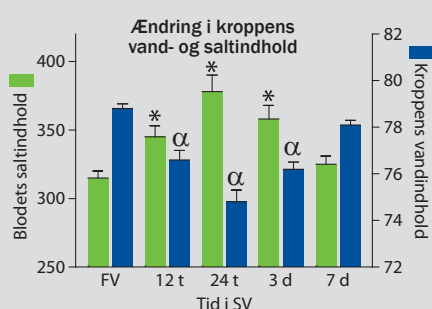
Na⁺/K⁺-pumpen er et vigtigt protein, der findes i de fleste cellers membran. Under forbrug af energimolekylet ATP, som omdannes til ADP og uorganisk fosfat, translokeres tre Na⁺-ioner ud af cellen og to K⁺-ioner ind. Pumpens aktivitet skaber en koncentrationsforskel, men også en ladningsfordeling over membranen, der kaldes en elektrokemisk gradient. Gradienten kan bl.a. benyttes til at sende nervesignaler rundt i kroppen, men også til andre processer som fx at optage næringsstoffer i tarmen eller transportere salt i fiskens gællelevæv. Na⁺/K⁺-pumpen består af tre forskellige proteinkomponenter, kaldet subunits, med hver deres funktion. Den del af pumpen, som sørger for transport af Na⁺ og K⁺, kaldes α -subuniten (grøn), mens β - er en forankringsenhed (gul) og γ -subuniten er en regulerende enhed (rød). I forskellige Na⁺/K⁺-pumper findes forskellige udgaver af α -subuniten, kaldet isoformer, som giver pumpen forskellige egenskaber.



I regnbueørredens gællelevæv har forskere for nylig fundet fire forskellige isoformer: α_{1a} , α_{1b} , α_{1c} og α_3 . I projektet undersøgte vi, mængden og placeringen af α_{1a} , α_{1b} i fiskens gællelevæv i hhv. ferskvand og saltvand. Man kender ikke den præcise funktion af de forskellige isoformer endnu.

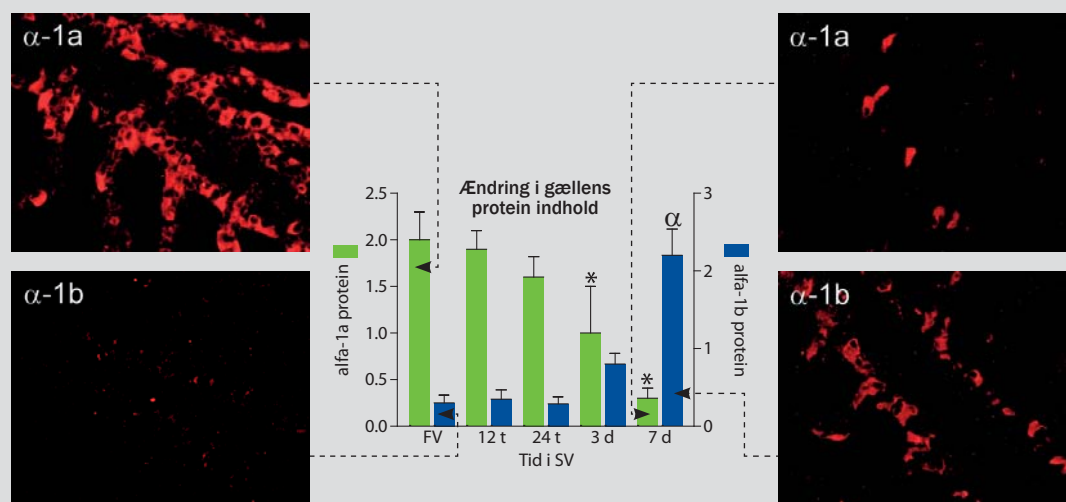
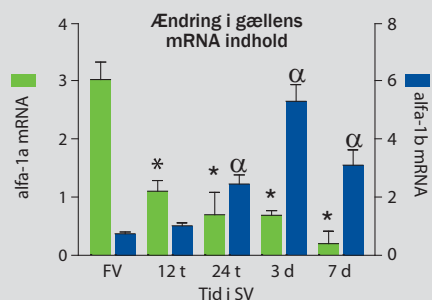
Øverste figur viser, hvordan blodets saltindhold (grøn) og kroppens vandindhold (blå) ændrer sig de første syv dage efter en overflytning af regnbueørreder fra ferskvand (FV) til saltvand (SV).

De to parametre ændrer sig relativt hurtigt og i modsat retning inden for de første 24 timer og vender derefter gradvist tilbage mod de oprindelige værdier. Resultaterne viser, at fiskene i starten stresses af omstillingen, men efterhånden begynder at udvikle de nødvendige mekanismer for at bringe stabilitet i kropsvæskerne igen.



Nederste figur viser, hvordan gællens indhold af mRNA, der koder for de to interessante isoformer af Na⁺/K⁺-pumpens α -subunit, ændres efter overflytning til saltvand. α_{1a} mængden (grøn) falder til et meget lavt niveau samtidigt med at α_{1b} mængden (blå) stiger til et højere niveau.

Ændringerne tyder på, at der sker en ændring af mængden og funktionen af Na⁺/K⁺-pumpen, som varetager reguleringen af kroppens saltindhold. * og α symboler over søjlerne angiver signifikante ændringer i forhold til ferskvands-værdierne.



Figuren viser, hvordan mængden og lokaliseringen i gællen af de to Na⁺/K⁺-pumpe isoformer α_{1a} og α_{1b} ændres efter overflytning fra ferskvand (FV) til saltvand (SV). α_{1a} mængden (grøn) falder til et meget lavt niveau samtidigt med, at α_{1b} mængden (blå) stiger til et højt niveau. Disse resultater harmonerer fint med lokaliseringen af de to isoformer i de histologiske længdesnit af gællen. I ferskvands-gællen ses næsten udelukkende celler, der indeholder α_{1a} -isoformen (øverst tv.), hvorimod celler med højt indhold af α_{1b} -isoformen dominerer i SV-gællen (nederst th.). Billederne viser længdesnit af gællen med lameller siddende vinkelret på filamentet (boks, forrige side). * og α symboler over søjlerne angiver signifikante ændringer i forhold til ferskvands-værdierne.

Videre læsning:

Madsen, S.S., Kiilerich, P. & Tipsmark C.K. (2009) Multiplicity of expression of Na⁺, K⁺-ATPase alpha-subunit isoforms in the gill of Atlantic salmon (*Salmo salar*): cellular localisation and absolute quantification in response to salinity change. *Journal of Experimental Biology* 212: 78-88.

McCormick, S.D., Regish, A.M., Christensen, A.K. & Björnsson, B.T. (2013) Differential regulation of sodium-potassium pump isoforms during smolt development and seawater exposure of Atlantic salmon. *Journal of Experimental Biology* 216: 1142-1151.

På jagt efter de mindste alger

De mindste arter af plankton er så små, at de ikke kan studeres i et almindelig mikroskop. Alligevel har disse små arter stor betydning for havets kulstofkredsløb, og nu kan vores viden udvides ved brug af DNA-metoder.

Forfattere



Erik Askov Mousing, ph.d.-studerende, Center for Makroøkologi, Evolution og Klima, Københavns Universitet. eamousing@bio.ku.dk



Nikolaj Sørensen, ph.d.-studerende, Center for Makroøkologi, Evolution og Klima, Københavns Universitet. nsorensen@bio.ku.dk

Sidste år var vi sammen med en snes andre forskere på et ti dage langt togt med forsknings-skibet Dana, hvor vi indsamlede og behandlede vandprøver fra Grønlandshavet; fra Island i syd op til 74° nord. Vores første målestation lå i Danmarksstrædet mellem Island og Grønland. Det var dog ikke vandet, som interesserede os, men derimod de mikroskopiske alger kaldet fytoplankton, som flyder rundt i det.

På trods af, at fytoplankton kun måler brøkdele af en millimeter har deres antal og artssammensætning en altafgørende betydning for havets økologi og samspillet mellem havet og klimaet. Det skyldes planktonets fotosyntese – evnen til at lave sukkerstoffer fra vand og uorganisk kulstof (CO_2) ved hjælp af solens energi. Fytoplanktonet er også det

nederste trin i fødekæden og dermed grundlag for alle større organismer i havet såsom krebsdyr, fisk, havpattedyr og fugle. For det menneskelige øje er alt fytoplankton meget småt, og de bliver derfor ofte behandlet som én stor gruppe. Ser man derimod på fytoplanktonet igennem et mikroskop åbner der sig en utrolig varieret verden med ekstreme størrelsesforskelle og en enorm artsdiversitet. Faktisk varierer fytoplankton over en faktor 10.000 i størrelse, hvilket er langt mere end forskellen mellem en mus og en elefant.

Noget fytoplankton opfører sig både som plante og dyr

I tillæg til de store størrelsesforskelle man finder indenfor fytoplankton, er der også enorme forskelle i hvilken rolle, de spiller i økosystemet. Hvor noget

Artsbestemmelse af de mindste alger

De mindste alger er for små til, at de kan genkendes og artsbestemmes i et mikroskop, og derfor bruger man oftest molekylære metoder til at identificere dem. Det betyder, at man bestemmer arterne ud fra forskelle i deres DNA-sekvens. Man behøver dog ikke hele organismens DNA-sekvens, men nøjes oftest med et enkelt gen, typisk genet 18S. I praksis sekventerer (dvs. aflæser) man det DNA, der er til stede i en vandprøve, og sammenligner resultaterne med DNA-sekvenser fra kendte organismer.

Over de seneste par år er det blevet flere hundrede gange billigere at sekventere DNA, og udviklingen ser ikke ud til at stoppe foreløbig. Det bliver derfor mere og mere normalt med molekylære studier, der bruger DNA-sekventering. Når man arbejder med DNA, ser man dog aldrig selve cellen,

men kun dens slægtsforhold. Det er derfor vigtigt, at kombinere DNA-sekventering med andre metoder, hvis man ønsker at fortælle noget om et biologisk samfund.

En metode, man kan benytte, er pigmentanalyse. Her udnytter man, at der hos alger, i modsætning til landplanter, kan være stor variation i, hvilke pigmenter der bliver benyttet til fotosyntese. Hvor landplanter blade er grønne, kan algers farve variere mellem grøn, gul, brun, rød og endda blå, samt alle tænkelige nuancer deraf. Den præcise pigmentsammensætning afhænger af algens slægtsforhold. Selvom denne metode ikke er præcis nok til at bestemme selve arten, da nært beslægtede arter af alger oftest har samme pigmentindhold, kan man stadig til en vis grad bekræfte de data, man får fra de molekylære analyser.

i Grønlandshavet

fytoplankton ernærer sig gennem fotosyntese ligesom planter, er der andet, der må spise andre organismer for at få næring ligesom dyr. Endelig findes der dem, der befinder sig mellem disse to kategorier og kan udnytte solens stråler til energi samtidig med, at de kan spise andre organismer. Denne sammenblandede ernæringsstrategi kaldes meget passende *mixotrofi* og har vist sig at være meget mere udbredt blandt fytoplankton, end man først troede.

Grønlandshavet er interessant, fordi det er del af et særligt produktivt område, hvor der bliver optaget meget CO₂ fra atmosfæren. Vi er på jagt efter nye data på fytoplanktonets mange forskellige arter og størrelser, der kan kaste lys over, hvordan de påvirker og bliver påvirket af klimaændringerne i fremtiden.

De små størrelser er en udfordring

De arter af fytoplankton, vi ved absolut mindst om i Arktis, er de små pikoeukaryoter, og de forventes endda at blive mere dominerende i fremtiden. Derfor var pikoeukaryoterne også blandt dem, vi var særlig interesserede i at indsamle, mens vi var ombord på forskningsskibet. Med en størrelse på un-



Kiselalge set under lysmikroskop

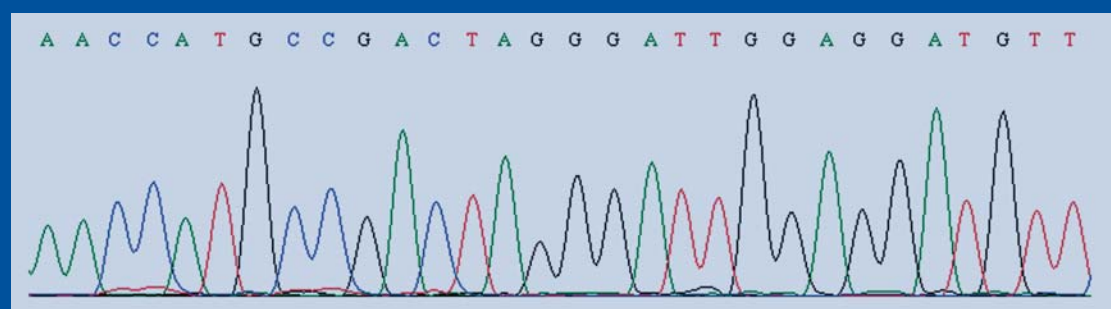
Kiselalgen *Chaetoceros atlanticus*. Kiselalger er, som navnet antyder, omgivet af en skal bestående af kisel. Denne skal beskytter dem mod at blive spist, men gør dem også tunge, således at de hurtigere daler ned på bunden, hvor de dør uden tilgang til lys. De lange børster er med til at modvirke dette ved at få kiselalgen til at synke langsommere ned gennem vandsøjlen.

Foto: Niels Daugbjerg

Kromatogram af DNA-sekvens

Når DNA sekventeres, bliver der lavet en kopi af det DNA, man aflæser. I stedet for de almindelige fire DNA-baser (adenin, cytosin, guanin og thymidin) bruges modificerede versioner, der lyser i forskellige farver. En maskine aflæser da denne perlerække af farver, hvilket giver et kromatogram, hvorfra

DNA-sekvensen kan aflæses. På kromatogramet angiver højden af en kurve intensiteten af lyset, der svarer til en given base. Det vidste udsnit af et kromatogram viser 30 basepar af en arktisk alges DNA-sekvens tilhørende slægten *Chrysochromulina*.



der 1-2 mikrometer hører pikoekaryoter til blandt verdens mindste livsformer, og man kan lægge op til 1000 af dem ved siden af hinanden på en enkelt millimeter. På trods af, at en liter vand kan indeholde flere tusind arter, er de første 100 af disse endnu ikke blevet beskrevet. Det skyldes naturligvis deres ringe størrelse, som gør dem utroligt svære at håndtere og helt umulige at studere i et mikroskop. I stedet benytter vi os af molekylære metoder, hvor vi undersøger deres DNA for at adskille og genkende de enkelte arter (boks forrige side).

At forstå, hvad der bestemmer artsdiversiteten på Jorden, er et af økologiens store spørgsmål. I Center for Makroøkologi, Evolution og Klima arbejder alle forskere på at besvare dette spørgsmål med udgangspunkt i vidt forskellige organismegrupper. Dette er en krævende opgave, og vi, der arbejder med mindre-end-mikroskopiske arter, har det absolut ikke nemmere. Håbet er dog, at vi gennem en kreativ brug af molekylære metoder kan lære om fytoplanktonets levevis og udbredelse.

Fytoplankton forsinket den globale opvarmning

En særlig vigtig egenskab, vi interesserer os for hos Grønlandshavets fytoplankton, er størrelsesfordelingen og sammensætningen af arter. Dette påvir-

ker nemlig, hvor meget CO₂ havet optager fra atmosfæren og deponerer i dybhavet. Denne transport af CO₂ fra atmosfæren til dybhavet kaldes den biologiske pumpe og kan forsinke global opvarmning.

Store kiselalger, som for eksempel arter af *Chaetoceros*, menes at kunne øge havets optag af CO₂ på et givent sted. Dette skyldes delvist, at de er relativt tunge og dermed synker hurtigere, men også at de bliver ædt direkte af krebsdyrene. Den korte vej igennem fødekæden giver en større sandsynlighed for, at det organiske kulstof synker ned fra overfladevandet som for eksempel vandloppesækaler, inden det bliver nedbrudt af bakterier.

Tidligere studier har således antydnet, at områder domineret af store arter af fytoplankton har et større biologisk optag af CO₂ end områder domineret af små arter. Desværre viser forskning dog også, at når vandet bliver varmere, er det de små fytoplankton, som klarer sig bedst og dominerer over de større. Vi har altså grund til at frygte en ond cirkel, hvor global opvarmning fører til flere små arter af fytoplankton, og havets evne til at optage CO₂ bliver svækket. Det vil betyde mere CO₂ i atmosfæren, som vil resultere i yderligere temperaturstigninger.

Læs mere

Maria Lund Paulsen, Karen Riisgaard, Mette Dalgaard Agersted, Line Reeh og Torkel Gissel Nielsen: Havets plankton bremser klimaændringer, *Aktuel Naturvidenskab* nr. 6-2012.

Katherine Richardson, Will Steffen og Diana Liverman: *Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions*. Cambridge University Press. 2011.

Banker dit hjerte for naturvidenskab?

Lidenskab for videnskab

Feltarbejde i strid modvind

Feltarbejde på havet går ikke altid efter planen. Allede efter den første station blev vi ramt af en storm, der forhindrede os i at sætte udstyret i vandet igen. I laboratoriet fortsatte arbejdet dog på trods af det dårlige vejr. For at undersøge størrelsesfordelingen og artsdiversiteten af fytoplankton filtrerede vi vand igennem forskellige filterstørrelser.

Filtrene fryses ned, så vi kan måle på dem på land. Alle fytoplankton indeholder pigmentet klorofyl *a*, og ved at måle koncentrationen af klorofyl *a* fanget på filtrene, kan vi estimere koncentrationen af fytoplankton i hver størrelsesfraktion og dermed den relative størrelsesfordeling.

Vi tog også konserveret vand med hjem, og i disse prøver kan vi både tælle antallet af forskellige større arter samt måle cellerne og beregne deres volumen. For at forstå fytoplanktonets fordeling må vi også vide, hvordan forholdene var, da de blev indsamlet. Udover de fysiske parametre som saltindhold, temperatur, dybde og lys, indsamler vi også vandprøver til bestemmelse af de vigtigste uorganiske næringssalte (som nitrat, fosfat og kiseltsyre) og vi måler primærproduktionen (raten hvormed CO₂ indbygges).

I løbet af togtet løb vi ind i flere storme, men over ti dage lykkedes det at indsamle mere end 40 vandprøver til artsbestemmelse, foretage ca. 40 målinger af primærproduktion samt at filtrere mere end 500 liter vand fra i alt 20 stationer. I alt fik vi indsamlet hundredvis af prøver, som vil blive undersøgt over de næste mange måneder.

Vandprøver kan være bedre end satellitmålinger

Når forskere beregner fytoplanktonets optag af CO₂ på global skala, bruger de ofte modeller baseret på satellitobservationer af alger i havet. Dette er en vigtig udregning, da den fortæller os om havets effekt på mængden af CO₂ i atmosfæren og dermed graden af global opvarmning, som vi kan forvente i fremtiden. Det har dog vist sig, at disse modeller i flere dele af verdenshavet er upræcise. Det gør sig særligt gældende i kolde egne, hvor CO₂-optaget spiller en vigtig rolle. Det skyldes sandsynligvis, at de nuværende modeller er baseret på varmere vand, og beregningerne derfra ikke kan overføres direkte til Arktis.

Baseret på prøverne fra vores togt til Grønlandshavet og andre lignende togter håber vi at øge vores forståelse af algerne optag af CO₂ i Arktis, således at modellerne kan blive pålidelige. Det er især vigtigt med gode modeller for Arktis, da det ikke alene udgør et område med stort optag af CO₂, men også et område, der påvirkes tidligere og kraftigere af global opvarmning end resten af verden. ■



Stemmingsbillede fra togtet.

Foto: Erik Mousing.

Udtagning af vandprøver fra forskellige dybder.

Når vi er nået frem til en målestation sendes en CTD-rosette med forskellige måleinstrumenter og vandhentere ned igennem vandsøjlen. Vi måler bl.a. vandets saltindhold, temperatur, dybde (deraf navnet CTD: conductivity-temperature-depth) og lys, og i takt med, at CTD'en sænkes ned, kan vi lave en dybdeprofil af vandet. Ud fra profilen kan vi vælge særligt interessante dybder og udtage vandprøver til vandkemi og biologi. Når CTD'en er tilbage på dækket, tappes den for vand og vores analyser starter. Da vi skal nå flest mulige stationer er det en kamp mod tiden at få prøverne i hus ved hver station, så vi arbejder benhårdt – også om natten.

Foto: Erik Mousing og Nikolaj Sørensen



Et af flere laboratorier om bord. Mange forskellige forskningsinstitutioner og projekter er gået sammen for at gøre turen mulig: Fire universiteter, NAACOS, Dansk Center for Havforskning og Grønlands Naturinstitut. Havforskning er desværre så kostbart, at alle økonomiske sejl må sættes, hvis man ønsker at komme til søs.

Foto: Erik Mousing



Big bang

Den europæiske Planck-satellit har afsløret, at universet er ældre, anderledes opbygget og mere udfordrende end hidtil antaget.

Forfatter



Michael Linden-Vørnle, astrofysiker og chefkonsulent,

DTU Space
mykal@space.dtu.dk

Vores verden har forandret sig. Ikke sådan i bogstavelig forstand, men fordi den ambitiøse europæiske satellitmission ved navn Planck har givet os ny indsigt i, hvad vi ved om universet, men også hvad vi ikke ved.

De uhyre præcise målinger fra Planck-satellitten, der blev offentliggjort den 21. marts i år, fortæller os, at universet er simpelt, men også udfordrende. Simpelt, fordi Plancks målinger grundlæggende set bekræfter vores syn på universets fødsel – det såkaldte big bang. Udfordrende, fordi Planck har afsløret meget små, men potentielt vigtige afvigelser, der måske kræver ny fysik for at blive forklaret.

Den kosmiske tåge

Big bang skete for næsten 14 milliarder år siden, da det uendelige univers blev født i en meget varm og tætpakket tilstand. Ved big bang begyndte universet at udvide sig – en proces, der stadig er i fuld gang i dag – så både temperatur og tæthed faldt. I løbet af de første minutter efter big bang opstod fundamentale byggeklodser til vores verden: protoner, neutroner og elektroner.

I de første mange tusinde år efter big bang var universet så varmt, at det var en sydende suppe af stof

og stråling. Protonerne kunne ikke indfange elektronerne og danne brint, og alle de frie elektroner spredte lyset i alle retninger. Efter 380.000 år var universets temperatur imidlertid blevet så lav (ca. 3000 K), at protonerne kunne indfange elektronerne og danne neutrale brintatomer. Der blev også dannet en betydelig andel heliumatomer (rundt regnet $\frac{3}{4}$ brint og $\frac{1}{4}$ helium) samt meget små mængder litium, beryllium og bor.

Uden frie elektroner til at sprede lyset kunne strålingen fra big bang pludselig bevæge sig frit og uhindret af sted. Den kosmiske tåge, der havde været der siden big bang, lettede, og vi kan i dag se dette første lys som en meget jævn og svag mikrobølgestråling på hele himlen. Det er netop denne efterglød fra big bang som Planck har lavet de til dato mest detaljerede målinger af.

Følsom kortlægning

Planck har studeret universet fra en bane omkring det andet Lagrange punkt i Jord-Sol systemet. Dette punkt ligger 1,5 millioner km fra Jorden modsat Solen og er ét af fem særligt stabile punkter i Jordens og Solens tyngdefelt, hvor en satellit lettere kan fastholde sin position. Her følger Planck med Jorden rundt om Solen, mens satellitten langsomt

Stort billede: En kunstners forestilling af Planck-satellitten i rummet.

Figur: ESA, Planck Collaboration

roterer om sig selv. På denne måde bruger Planck ca. et halvt år på at kortlægge hele himlen én gang. Indsamlingen af videnskabelige data startede i august 2009. Under dataindsamlingen blev himlen observeret i ni forskellige frekvensbånd fra 30 til 857 GHz. De tre laveste frekvenser (30, 44 og 70 GHz) blev observeret af et instrument ved navn LFI (Low Frequency Instrument), mens de seks højeste frekvenser (100, 143, 217, 353, 545 og 857 GHz) blev fanget af et instrument kaldet HFI (High Frequency Instrument).

HFI fungerede dog kun så længe det blev aktivt kølet til en temperatur på kun 0,1 K – altså en tiendedel grad over det absolutte nulpunkt, der er den

Mælkevejen og andre galakser

Planck-satellitten har dog ikke kun set på eftergløden fra big bang. Mælkevejen og de andre galakser i universet danner en naturlig forgrund, der er kommet med i Plancks målinger. Det er stråling fra bl.a. gas og støv i Mælkevejen og i andre galakser, som Planck har indfanget. Data fra Planck giver os derfor også mulighed for at lære mere om Mælkevejen og andre galakser.

I forhold til Plancks primære opgave – at undersøge eftergløden fra big bang – er strålingen fra Mælkevejen derimod et forstyrrende gardin af støj. En meget stor udfordring for at udnytte Plancks observationer til at lære mere om big bang har derfor været at kortlægge, forstå og fjerne den stråling, der udsendes af både Mælkevejen og andre galakser.

Her har det været helt afgørende, at Planck har observeret himlen i de ni forskellige frekvensbånd. Strålingen fra big bang, Mælkevejen og de andre galakser er nemlig ikke den samme ved alle ni frekvenser, men har et karakteristisk forløb, der er styret af hvilken type stråling, der er tale om. Dette forhold er uhyre vigtigt for at kunne adskille strålingen fra big bang fra Mælkevejen og de andre galakser.

set i nyt lys

lavest mulige temperatur (-273,15 °C). Da HFI i januar sidste år løb tør for kølemiddel (flydende helium) blev Planck så at sige blind på det ene øje og indsamlingen af de primære videnskabelige data var slut. Siden da har LFI dog fortsat med at indsamle data, der bl.a. kan bruges i behandlingen af de videnskabelige data. Planck nåede i alt at observere hele himlen næsten fem gange med en umådelig høj kvalitet af målingerne.

Opkaldt efter Max Planck

Planck-satellitten er opkaldt efter den tyske fysiker Max Planck, der som den første beskrev, hvordan et legeme med en bestemt temperatur udsender stråling. Eftergløden fra big bang, som Planck-satellitten har observeret, har netop denne egenskab.

Dansk teleskop om bord

Planck er et europæisk projekt realiseret af det europæiske rum samarbejde, ESA. Således har ESA stået for selve satellitten samt opsendelsen, der fandt sted den 14. maj 2009. Plancks to ultrafølsomme måleinstrumenter, LFI og HFI, er blevet leveret af henholdsvis et italiensk og fransk konsortium, mens Danmark har bidraget med Plancks teleskop. Planck-teleskopet har indfanget og fokuseret eftergløden fra big bang, der så er blevet registreret af LFI og HFI. Teleskopet består af to spejle, der er lavet af kulfiber og belagt med aluminium.

Seniorforsker Hans Ulrik Nørgaard-Nielsen fra Institut for Rumforskning og -teknologi ved Danmarks Tekniske Universitet (DTU Space) har ledet udviklingen af Planck-teleskopet. Dette arbejde er blevet gennemført med støtte fra det danske firma Ticra A/S. Det danske bidrag til Planck har givet Hans Ulrik Nørgaard-Nielsen og hans kolleger direkte adgang til de uhyre værdifulde observationer Planck har leveret.



Planck-teleskopet under afprøvning. Hovedspejlet er ca. 1,9 meter højt og 1,5 meter bredt, mens det mindre sekundær-spejl er ca. 1 meter i diameter.

Foto: ESA

Universets rammelovgivning

Eftergløden fra big bang kaldes for den kosmiske mikrobølgebaggrund og er et øjebliksbillede – et snapshot – af universet som det så ud 380.000 år efter big bang. Fordelingen og bevægelsen af stof på dette tidlige tidspunkt i universets historie samt virkningen af de fysiske processer, der udfoldede sig fra big bang og frem til strålingen blev sendt af sted, er så at sige frosset fast i mikrobølgebaggrunden.

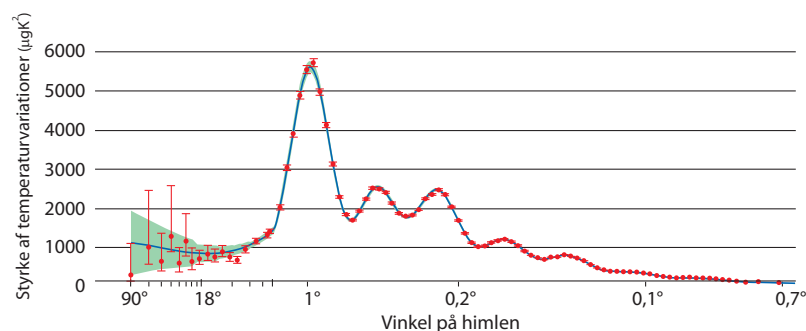
Meget detaljerede observationer af eftergløden giver derfor adgang til at studere fysikken i det tidlige univers bl.a. den såkaldte inflationsfase. Den fandt sted en forsvindende brøkdel af et sekund efter big bang og var skyld i en meget voldsom udvidelse af universet. Overordnet set giver observationer af eftergløden os mulighed for at fastlægge universets rammelovgivning, der ud fra kun seks tal beskriver, hvordan vores verden er skruet sammen set på den helt store bane.

I praksis handler det om at se på hvor store ujævnheder, der findes i den kosmiske mikrobølgebaggrund ved forskellige vinkler på himlen. Dette angives med et såkaldt power-spektrum, der viser styrken (power) af ujævnhederne som funktion af vinklen på himlen. Den teoretiske model for universet siger, at styrken af ujævnhederne skal være størst ved vinkler på omkring 1° og det ses i power-spektret som en markant top.

Både placeringen og højden af denne top er meget følsom overfor de forskellige elementer i vores teoretiske model for universet. Ud fra power-spektret af Plancks observationer er det derfor muligt at fastlægge den mest sandsynlige model for universet og herudfra at få information om bl.a. universets alder og sammensætning.

Læs mere

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Planck



Power-spektret af ujævnhederne i Plancks observationer af mikrobølgebaggrunden, der viser styrken (power) af ujævnhederne som funktion af vinklen på himlen. Målingerne er markeret med røde punkter med usikkerheden på målingerne vist som lodrette, røde streger.

Den teoretiske model, der passer bedst med målingerne, er vist som en blå kurve, mens det lysegrønne område omkring kurven viser alle de variationer af den teoretiske model, der er i bedst overensstemmelse med Plancks data. Ved vinkler fra 6° og op til 90° er der imidlertid ca. 10 % for lidt styrke i de observerede ujævnheder i forhold til modellen.

Figur: Efter: ESA, Planck Collaboration

Små, men vigtige afvigelser

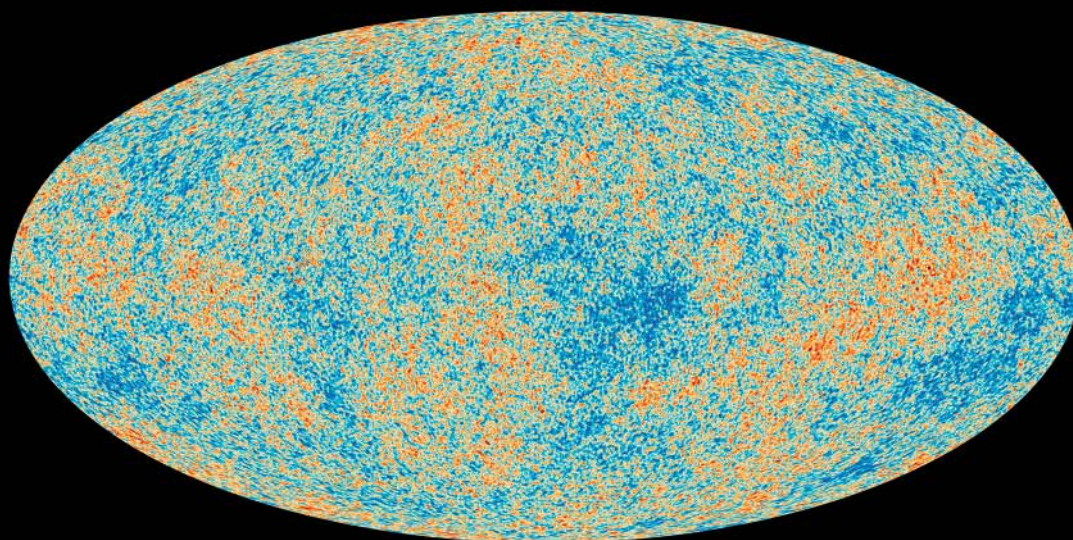
I vid udstrækning støtter Planck vores nuværende forståelse af, hvordan universets udvikling er forløbet fra inflationsfasen en forsvindende brøkdel af et sekund efter big bang og frem. Ikke desto mindre har Plancks målinger givet os en ny værdi for bl.a. universets alder. Baseret på Plancks data blev hele universet født i big bang for 13,82 milliarder år siden, hvilket er ca. 75 millioner år mere end hidtil antaget.

Plancks observationer har også gjort det muligt at give den til dato bedste beskrivelse af universets sammensætning. Således består universet for 4,9 % vedkommende af det normale materiale som stjerner, planeter og mennesker er lavet af. Dertil kommer 26,8 % usynligt mørkt stof, der påvirker omgivelserne med sin tyngdekraft. De resterende 68,3 % er det forskere kalder mørk energi, der får universets udvidelse til at gå hurtigere. Plancks målinger har markant ændret balancen mellem mørkt stof og mørk energi, hvor de tidligere værdier var henholdsvis 22,9 % og 72,5 %. Det har imidlertid vist sig, at der er meget små, men tydelige afvigelser fra den teoretiske model, der passer bedst til Plancks målinger. Ved vinkler under 6° er der umådelig god overensstemmelse mellem målingerne og modellen. Fra 6° og op til 90° er der imidlertid ca. 10 % for lidt styrke i de observerede ujævnheder i forhold til modellen. Dertil kommer, at den ene halvdel af himlen gennemsnitligt set har en kraftigere stråling end den anden, og at der findes en såkaldt kold plet, der er for stor til umiddelbart at kunne forklares.

Mere på vej

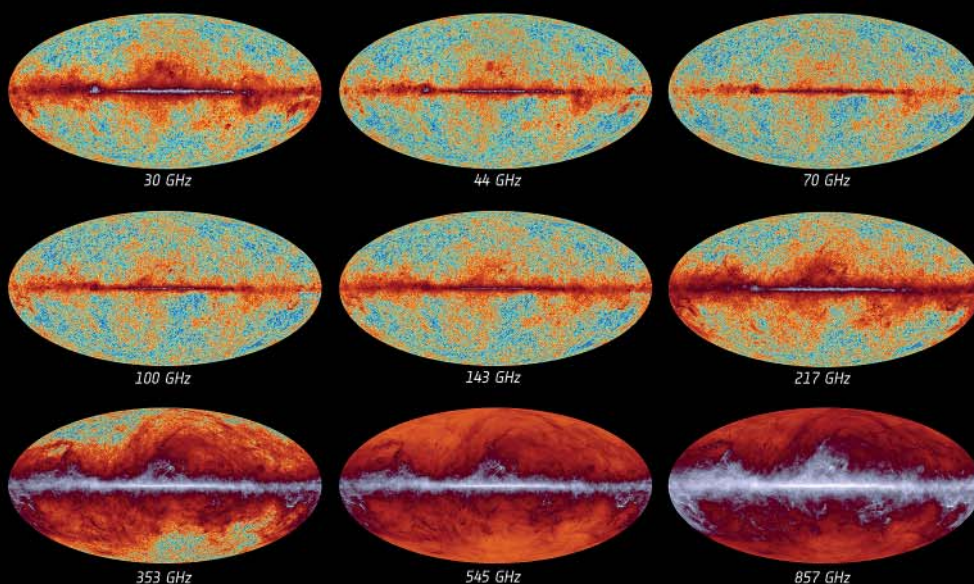
Tidligere målinger lavet af NASA-satellitten WMAP har antydnet forskellen mellem de to halvdele af himlen samt den kolde plet, men med Plancks følsomme observationer kan realiteten af disse afvigelser ikke længere betvivles. Dertil kommer så manglen på styrke i ujævnhederne mellem 6° og 90°, der er blevet afsløret af Planck. Samlet set er vi nu nødt til at tage disse afvigelser meget alvorligt og forsøge at finde en forklaring. Og det er jo netop det videnskab handler om: at stille spørgsmål til naturen og forsøge at få svarene til at give mening – også selv om de er uventede.

Heldigvis er der meget mere i vente. De data og resultater fra Planck, der blev offentliggjort den 21. marts i år, er baseret på observationer lavet i de første 15,5 måneder af den videnskabelige dataindsamling. Det betyder, at der er næsten lige så mange data, der stadig er ved at blive analyseret og som vil gøre kvaliteten af de endelige kort over den kosmiske mikrobølgebaggrund endnu bedre. Disse data forventes at blive offentlige til næste år og vil sammen med de resultater, der allerede er offentliggjort, danne grundlag for undersøgelser af universet og big bang mange år fremover.



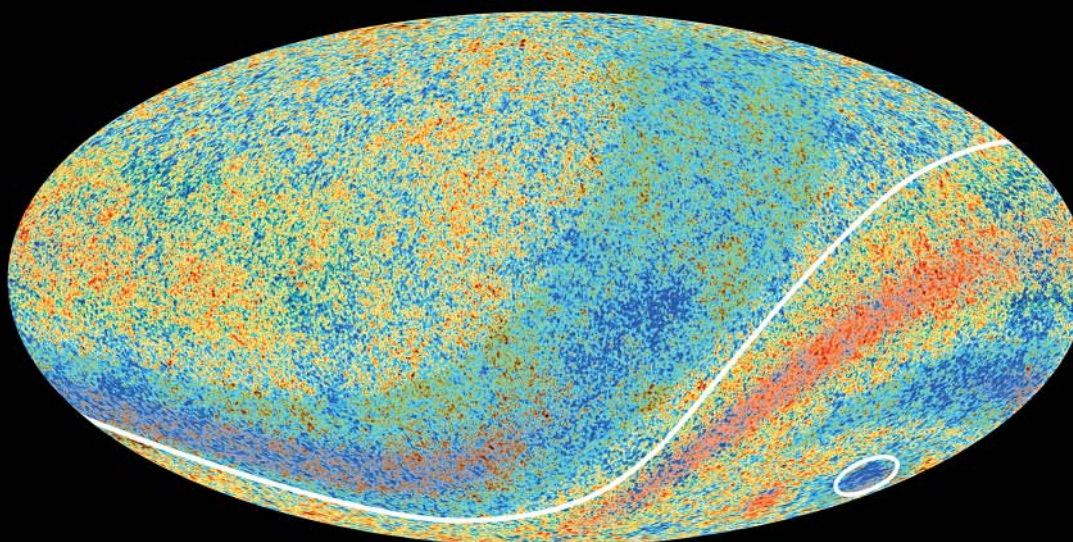
Den kosmiske mikrobølgebaggrund – eftergløden fra big bang – set af Planck-satellitten. Den ovale form svarer til hele himmelkuglen, mens de farvede pletter repræsenterer de meget små ujævnheder i eftergløden. En detaljeret analyse af disse ujævnheder gør det muligt at fastlægge universets rammelovgivning. Lyset, der i dag ses som eftergløden, blev sendt af sted 380.000 år efter big bang.

Figur: ESA, Planck Collaboration



Planck-satellitten har observeret hele himlen ved ni forskellige frekvenser. Vores galakse, Mælkevejen, og de andre galakser er kommet med i Plancks målinger som en naturlig forgrund, der skal filtreres fra for at kunne studere eftergløden fra big bang. Heldigvis er strålingen fra big bang, Mælkevejen og de andre galakser forskellig ved de ni forskellige frekvenser, hvilket gør det muligt at adskille forgrundene fra baggrunden.

Figur: ESA, Planck Collaboration



Plancks følsomme målinger har slået fast, at eftergløden fra big bang i gennemsnit er lidt kraftigere på den ene halvdel af himlen end den anden, samt at der findes en stor kold plet. Forskerne skal nu forsøge at finde en forklaring på disse afvigelser.

Figur: ESA, Planck Collaboration

Hands on genterapi

At sætte et gen ind i en stamcelle fra en mus er nu noget enhver i princippet kan gøre, blot man har det rette udstyr og vejledning. En gymnasieelev fortæller her om sit møde med "hands on genterapi" på Aarhus Universitet.

Forfatter



Hanna Pilgaard Christensen, gymnasieelev i 3.g på Vestjysk Gymnasium
hanna.pilgaard@gmail.com

For bare 10 år siden var forsøg med genterapi stemplet til fiasko, fordi for mange skuffende resultater og livstruende bivirkninger stoppede de positive tanker. Men i dag har flere nye eksperimenter vist, at behandling af folkesygdomme igen kan blive med genterapi på dagsordenen. Der har været lovende fremskridt inden for behandling af tilfælde af blødersygdom, boblebørn og blindhed, og forventningerne om, hvor langt man kan komme med denne form for behandling er steget med raketfart. På trods af de lovende resultater er vi dog langt fra at kunne udnævne genterapi til en mirakelkur.

Forsøg som model for genterapi

Princippet i genterapi er meget enkelt. Formålet er at erstatte de syge gener i kroppen med raske. I forbindelse med mit studieretningsprojekt ved Vestjysk Gymnasium har jeg fået førstehåndsindtryk af arbejdet med genterapi. Det foregik på Institut for Molekylærbiologi og Genetik ved Aarhus Universitet, hvor jeg lavede et forsøg med genterapi på stamceller fra mus. Formålet med forsøget var at vise, at der kan sættes et gen ind i embryonale stamceller fra en mus. Vi forsøgte mere præcist at indsætte et lille cirkulært DNA-molekyle (et plasmid), der indeholdt et sammensat gen. Det vil sige, at det i praksis er to gener, der koder for to forskellige enzymer, men de to gener udtrykkes samtidig, så de opfører sig som et. Det ene gen ("terapigenet") koder for enzymet β -galaktosidase, som kan farves blå. Det andet gen koder for enzymet neomycinofotransferase, som gør cellen resistent overfor antibiotikummet G418. Når cellerne bliver udsat for G418 vil celler, der ikke har resistensgenet derfor dø, og de celler, hvor genterapien er lykkedes, vil overleve.

Vellykkede forsøg

Den første udfordring er at få plasmidet med DNA'et ind i cellen. Dette kan gøres på mange måder, men vi brugte en metode kaldet elektroporation. De embryonale stamceller bliver udsat for kortvarige strømstød, i en beholder, hvor plasmiderne med DNA'et også befinder sig. Under det korte strømstød vil der opstå små huller i cellemembranen på stamcellerne. DNA er negativt ladet og vil derfor løbe mod plus. Noget DNA vil ramme hullerne i cellemembranen og dermed komme ind i cellen. Når strømmen slukkes forsvinder hullerne, og nogle af cellerne vil nu forhåbentligt indeholde arvematerialet.

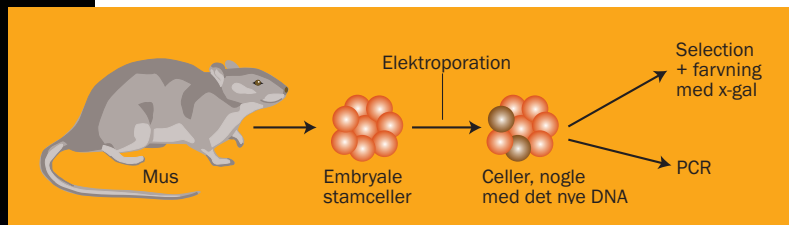
For at afgøre, hvilke celler der indeholdt det nye DNA, brugte vi to forskellige metoder.

Den ene metode går ud på først at selekttere cellerne ved hjælp af antibiotikummet G418, og derefter tilsætte farvestoffet X-gal, der farver celler med enzymet β -galaktosidase blå. Vi fik fire skåle med celler, hvor de to blev udsat for G418, mens de to andre ikke blev. Efter at skålene havde stået mørkt ved 37 grader i en halv time kunne forskellen ses. I skålene, hvor der havde været selektion, var der kun blå cellekolonier, og der var ca. 3-5 kolonier pr. skål. I skålene, der ikke var blevet udsat for G418, var der derimod masser af kolonier uden farvestof og kun en enkelt blå koloni.

Den anden metode gik ud på at udtage DNA fra cellerne og opformere det til større mængder ved hjælp af såkaldt PCR. Derefter tilføres DNA'et farve og det overføres til små brønde på en gel. Når der sættes strøm til gelen, så der kommer plus i den modsatte

Petriskål med celler, der ikke er blevet udsat for antibiotikumet G418. Kun en enkelt blå koloni, hvor gentherapie er lykkedes, har overlevet. I skåle, der blev udsat for antibiotikum, var der derimod kun blå kolonier.

Foto: Hanna Pilgaard



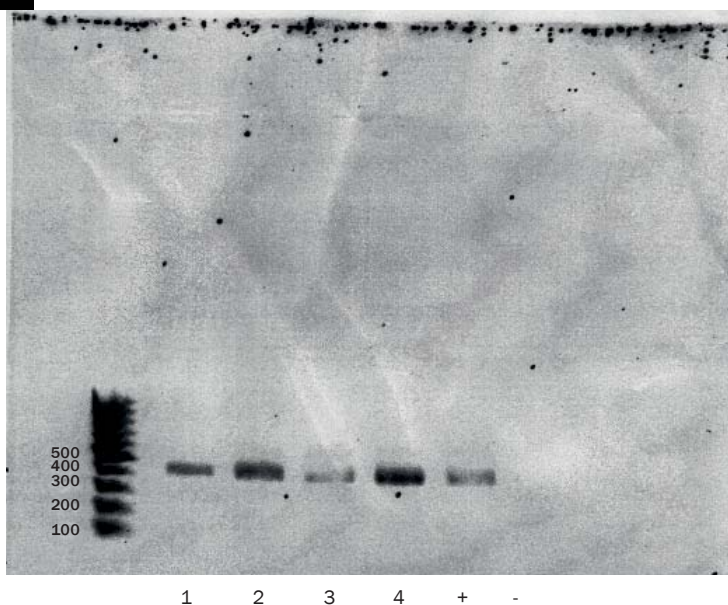
Forsøget gik ud på at sætte et gen ind i embryonale stamceller fra mus, og efterfølgende med to forskellige metoder afgøre, om missionen var lykkedes.

ende af, hvor brøndene befinder sig, vil DNA løbe mod plus, da det er negativt ladet. De korteste DNA-stykker vil løbe længst og de længste vil løbe kortest. Dette kan aflæses direkte på gelen som farvede bånd. Det DNA, vi forsøgte at få ind i cellen, var 400 basepar langt, og det viste sig, at alle vore fire prøver var lykkedes, idet vi ud for alle fire prøver kunne se bånd på gelen på omkring 400 basepar.

Åbner nye døre

Selvom vækkeuret ringer 05:30 føler jeg mig alligevel privilegeret over at kunne stå på Institut for Molekylærbiologi og Genetik klokken ni, vel vidende, at resten af mine klassekammerater kun lige er begyndt på anden time.

Privilegeret, fordi mulighederne her er meget bedre end mulighederne i laboratoriet derhjemme. Stamceller og gentherapie er ikke pensum i 3.g, og vi har hverken materialer, ressourcer, faciliteter eller viden til at gennemføre sådanne forsøg. Derfor er det guld værd at få mulighed for at prøve det alligevel. Det giver en ny vinkel på en opgave, når man har haft det i fingrene selv. Forståelsen for emnet kommer ikke længere kun fra bøger og internet, men også fra det arbejde, vi selv udførte, og selvfølgelig fra de mennesker, der hjalp os. Uden dem var forsøget ikke blevet til noget. Deres tålmodighed, og hjælp til at forstå, forklare og hjælpe med forsøget var helt uundværlig. Vi brugte af deres tid i flere dage, og alligevel besvarer de stadig gerne spørgsmål. Det er en fantastisk mulighed, for det er mennesker som arbejder med det hver dag, og derfor mere kompetente til at svare på spørgsmål end lærerne derhjemme. Udover det, havde de også styr på de mange etiske problemstillinger, der er ved gentherapie.



Billedet viser resultat af såkaldt elektroforese, hvor vi først har opformeret DNA ved hjælp af PCR og derefter overført DNA'et til en gel, hvortil der sættes strøm. Det negativt ladede DNA vil bevæge sig mod plus, og jo længere DNA-stykkerne er, jo længere vil de bevæge sig. Til venstre ses en "stige", hvor hvert trin på stigen svarer til 100 basepar. De fire prøver i midten viser, at der i alle tilfælde er et bånd ved 400 basepar (som netop er længden af det gen, vi gerne vil sætte ind i cellen). Yderst til højre er to kontroller. I +kontrollen ved vi, at det DNA, vi kigger efter, er til stede. I -kontrollen har vi ikke haft DNA i, så den viser heldigvis ikke noget bånd.

Vi brugte embryonale stamceller fra et musefoster, der måtte lade livet for forsøget. Det kan de fleste mennesker acceptere. Men hvad så, når det handler om mennesker? Spørgsmålet er også, om vi skal stoppe ved sygdomsbehandling, eller om vi også må forbedre mennesket – og hvor går grænsen? Det handler om den enkeltes livs- og menneskesyn, og på den front bliver verden nok aldrig enige, men har fortsat brug for lovgivning og debat. ■

Klima-slaveri

Klimadebatten kan sættes i et nyt perspektiv, hvis man sammenligner slaver med fossile brændstoffer.



Forfatter



Kristian Hvidtfelt Nielsen,
lektor,
Center for
Videnskabsstudier,
Aarhus Universitet.
khn@ivs.au.dk

Slaveri er moralsk forkasteligt. Det er der stort set universel enighed om, ligesom vi i dag er fast overbeviste om, at vi i det moderne samfund for længst har lagt slaveriets barbari bag sig. Denne overbevisning bliver nu udfordret af blandt andre den franske historiker Jean-Francois Mouhot og den kendte amerikanske klimaforsker James Hansen. De drager paralleller mellem tidligere tiders slaveri og nutidens omfattende brug af fossile brændstoffer med deraf følgende klimaproblemer. Måske er vi i virkeligheden ikke meget bedre end vores barbariske forfædre?

Energislaver gør arbejdet

På visse punkter er ligheden mellem slaver og maskiner slående. Slaver har altid gjort det hårde, beskidte og triuelle arbejde for at lette livet for en privilegeret klasse, og det gælder for alle kendte civilisationer i historien.

De fleste jæger-samler-samfund har sandsynligvis ikke haft slaver. Slaveri opstod som institution først med udbredelsen af landbruget og var en vigtig faktor for de første egentlige kulturdannelser. Selv i dag anslås det, at der på verdensplan er et sted mellem 12-27 millioner slaver, hvoraf mange lever som gældsslaver.

I vores del af verden er det dog ikke slaver, men primært maskinerne, der i dag arbejder for os. Hvor slaveejerne kontrollerede slavernes muskelkraft, har vi taget magten over de kræfter, der ligger gemt i olie-, kul- og gaslagre i undergrunden.

Energislaver er en ofte brugt betegnelse for de maskiner, der udfører langt størstedelen af vores fysiske arbejde, og som stort alle bliver drevet af energi fra fossile brændstoffer. Hvor slaveejerne udnyttede slaverne til egen fordel, forlader vi os nu på oliens og kullets energireserver for at kunne opretholde en

behagelig og luksuriøs tilværelse. Energislaver er effektive og billige. Det skyldes, at fossile brændstoffer har et højt energiindhold. Energiindholdet i 1 liter benzin er omtrent 32 MJ. Til sammenligning kan et gennemsnitligt menneske kun yde 250 kJ i timen eller 10MJ i løbet af en 40 timers arbejdsuge (uden pauser!). En hel dags fysisk arbejde svarer altså kun til nogle få skefulde benzin, som koster mindre end 1 krone ved benzintanken.

Opfindelsen af energislaver

Slaveriets ophævelse i den vestlige verden fandt sted, da man under industrialiseringen begyndte at tage energislaver i anvendelse. I starten var det dampmaskiner baseret på kulkraft. Selv om dampmaskiner ikke direkte overtog slavernes arbejde i løbet af 17- og 1800-tallet, var brugen af dampmaskiner med til at bestyrke den humanistiske forestilling om, at slaverne burde frigives.

Som forfatteren Oscar Wilde skrev i 1891: »Faktum er, civilisation kræver slaver. Det havde grækerne ganske ret i. Hvis der ikke er slaver til at udføre alt det beskidte, rædselsfulde og uinteressante arbejde, vil kultur og filosofi være næsten umuligt. Det er forkert, usikkert og demoraliserende at holde mennesker som slaver. Fremtiden afhænger af det mekaniske slaveri, af maskinen som slave.«

Som Wilde påpeger, er der en åbenlys forskel mellem menneskeslaveri og mekanisk slaveri. Den første form for slaveri går direkte ud over andre mennesker og bliver i dag betragtet som et brud på menneskerettighederne. Maskin- eller energislaveri forvolder ikke skade på andre, eller gør det?

Wilde og hans samtidige var ikke klar over det, men i dag ved vi, at afbrænding af fossile brændstoffer,



som er drivkraften for vores energislaver, har mange afledte skadevirkninger for mennesker og miljø, blandt andet udledning af drivhusgasser ud over hvad klodens økosystem kan absorbere. I takt med klimaforandringerne bliver disse skader mere synlige og mere mærkbare.

Klimaslaver

Ifølge Verdenssundhedsorganisationen WHO har klimaforandringer allerede nu forværrer nogle af de største sundhedsproblemer i verden (WHO 2012). Det drejer sig om udbredte sygdomme som malaria, diarré, meningitis og denguefeber. De vil alle blive forværrer af større klimavariationer i de lande, hvor sygdommene er mest udbredt, og som for størstedelens vedkommende også kæmper med problemer relateret til fattigdom, lavt uddannelsesniveau, politisk ustabilitet, krig m.m.

Klimaforandringerne kan være med til at forringe fødevarersikkerheden og vandforsyningen i de berørte lande, ligesom risikoen for visse former for naturkatastrofer vil blive forøget. I 2004 anslog WHO således, at menneskeskabte klimaforandringer forårsagede omkring 140.000 ekstra dødsfald årligt. Det internationale klimapanel har ydermere vurderet, at klimaforandringerne vil berøre mange millioner mennesker i form af ringere adgang til mad og drikke.

De nævnte problemer skal selvfølgelig ikke kun bekæmpes ved at reducere årsagen til klimaforandringerne, nemlig vores udledning af CO_2 , men det ændrer ikke ved argumentationen: Vores afhængighed af energislaver, olie og andre fossile brændstoffer er allerede i dag med til at forvolde skade på andre mennesker.

Akkurat som slaveriets konsekvenser i løbet af 17- og 1800-tallene kun langsomt gik op for mange folk,

der ikke direkte levede af slaver, men som alligevel var indirekte afhængige af slavekraft, er vi først nu – godt 250 år efter industrialiseringens begyndelse – ved at indse, at vores brug af fossile brændstoffer har alvorlige følgevirkninger for andre mennesker, der ikke nyder godt af den billige energis fordele. Den omfattende anvendelse af fossile brændstoffer til at sikre vores levestandard er med andre ord en form for klimaslaveri.

Klimaslaveri versus menneskeslaveri

Alligevel svarer vores "klimaslaveri" ikke helt til menneskeslaveri, hvis vi altså beskriver slaveri som "ejerskab over andre mennesker med ret til at tvinge dem til at arbejde", sådan som den mest almindelige definition lyder. Opvaskemaskinen lider ikke under vores ejerskab, selv om vi udnytter den groft. Vi ejer formelt set ikke de mange mennesker, der i dag lider verden over som følge af klimaforandringerne.

Der er dog gode grunde til at bruge en lidt bredere definition af slaveri. For det første er det ikke alle slavelignende forhold, der bygger på formelt ejerskab. Historisk set har mange slaver i princippet været frie, men alligevel ikke haft mulighed for at vælge en anden tilværelse end slaveriet. For det andet har nogle slaver modtaget en form for aflønning, som betød, at de selv kunne erhverve sig rettigheder og ejendom og derved langsomt arbejde sig ud af slaveforholdet.

I en lidt bredere forståelse kan slaveri altså kendetegnes som en tilstand af dominans over personer, der er af den ene eller grund er tvunget til at udføre arbejde for andre eller på anden vis lider under andres ekstravagante levevis. Selve ejerskabsforholdet spiller ikke en afgørende rolle for den moralske forømmelse af slaveriet.

Hvad kan vi lære?

At drage paralleller mellem slavesamfundets og oliesamfundets moralske habitus kan være med til at mindske modstanden mod de forandringer, der nu er nødvendige, hvis vi vil undgå, at vores efterkommere fordømmer vores nuværende levevis som udtryk for klima- eller energislaveri. Der er ingen, der ønsker at blive sammenlignet med en slaveejer, og det kan være, at det netop er dette ubehag, der skal til for at åbne vores øjne for det uetiske og risikobetonede i at leve, som vi gør.

Vi kan endvidere udnytte de historiske paralleliteter konstruktivt ved at forstå, hvad der gjorde modstanden mod slaveri mulig og i sidste ende virksom. Som det fremgår af ovenstående Oscar Wilde-citat tog slavemodstanden for alvor fart, da det i den tidlige industrialiseringsperiode begyndte at gå op for folk, at der var en mekanisk erstatning for slavearbejdere, nemlig dampmaskinen. Dampmaskiner overtog dog kun i enkelte tilfælde slavernes hårde arbejde, så det er tvivlsomt, om maskinerne udgjorde et reelt alternativ til slaveriet. Udviklingen og ibrugtagning af dampmaskinerne var dog med til at bestyrke troen på, at den dengang eksisterende levestandard kunne opretholdes, endda forbedres, uden slaveri.

Teknologiske alternativer til fossile brændstoffer og reduktion af energiforbruget bør derfor have toprioritet blandt politikere, erhvervsfolk, forskere og andre med indflydelse på fremtidens energiforsyning. Der findes allerede en række gode, effektive og bæredygtige alternativer, så det giver ikke mening at udsætte den store omstilling til en grøn ligevægts-økonomi. Det er vigtigt at fremhæve, at grønne teknologier, bæredygtige markeder og energibesparelser ikke bare har en teknisk, økonomisk og miljømæssig betydning, men også moralsk værdi. Det tekno-økonomiske fix kan dog ikke gøre det alene. Der er også stærkt brug for at tænke i nye måder at organisere centrale dele af vores samfund, hvis vi ikke skal opleve omstillingen som et tilbageskridt.

Oscar Wilde og hans samtidige havde dampmaskinerne og det industrialiserede samfund som håb. Vi må også være visionære i forhold til, hvordan nye teknologier og nye samfundsformer går hånd i hånd i en fremtid uden fossile brændstoffer. Dommedagsprofetier og skrækkampagner afføder i bedste tilfælde apati og i værste tilfælde mistro til klimaforskningen og klimapolitisk nytænkning.

Industrialiseringen spillede en vis rolle for ophævelsen af slaveriet, men det var ikke den eneste, endelige vigtigste faktor. Slavemodstandere brugte mange politiske strategier for at vende opinionen, blandt andet ved at knytte ophævelsen af slaveriet tæt sammen med andre fordele af social, økonomisk og national karakter. Det var som regel en lang og sej kamp mod den herskende ideologi, en kamp der i dag giver mindelser om kampen mod oliesamfundet. ■

Læs videre

Jean-Francois Mouhot. "Past connections and present similarities in slave ownership and fossil fuel usage", *Climatic change* 105(1-2): 329-355, 2011.

Jim Hansen. "Fixing the planet", foredrag holdt ved Edinburgh Science Festival i forbindelse med modtagelsen af Edinburgh Science Medal, torsdag d. 12. April 2012.

Jørgen Steen Nielsen. Den store omstilling. København 2012.

Oscar Wilde. Menneskets sjæl under socialismen. København 2009.

World Health Organization. Atlas of health and climate change. Geneva 2012. Tilgængelig på: www.who.int/global-change/publications/atlas/report/en/index.html.

Danmark som foregangsnation

Danmark er gået over i historiebøgerne som den første nation, der afskaffede slaveriet, og meget tyder på, at Danmark også vil sikre sig en plads i fremtidens historiebøger på grund af vores kamp mod klimaslaveriet.

Slaveriets ophævelse skete i 1792 med virkning fra 1803, hvorefter danske undersåtter ikke måtte befatte sig med slavehandel på Afrikas kyst. De ti år var en slags omstillingsperiode, hvori danske slaveejere og -handlere kunne nå at forberede sig på de nye tider.

Danske handelsmænd og plantageejere havde på daværende tidspunkt haft stor økonomisk fordel ved den såkaldte trekantshandel med slaver, hvor afrikanske slaver blev transporteret over Atlanten til De Vestindiske øer til gengæld for sukkermasse og rom til København.

Alligevel argumenterede fremtrædende danske politikere som Ernst Schimmelfmann, der selv ejede sukkerplantager på

St. Croix, for en afskaffelse af slaveriet. De vidste, at andre lande som England var på vej med tilsvarende forbud, og de ønskede at sikre danske handelsmænd et forspring i forhold til internationale konkurrenter.

Danmark er allerede et foregangsland med vedvarende energikilder, så i en vis grad har vi taget fat på omstillingen fra "klimaslaveriet" til "solslaveriet", hvor det er solens energi, der gør arbejdet for os. Baggrunden for dansk energipolitik er – ligesom forbuddet mod slavehandel i 1803 – hovedsageligt nationale interesser, nemlig at fremtidssikre Danmark ved at skabe en grøn økonomi i vækst.

Den historiske fortolkning af forbuddet mod slavehandel peger på, at der er ekstra gevinster ved at tage fat på den store omstilling nu. Klimakrisen hænger nemlig, akkurat som slavehandlen gjorde det, tæt sammen med en række andre sociale og økonomiske problemer, som vi også kan og bør adressere i omstillingsperioden.



Portræt fra 1827 af Ernst Schimmelfmann

BOGANMELDELSE

UDGIVELSER

Isaac Newton – geniet og mennesket

Anmeldt af Carl-Erik Sølberg, civilingeniør

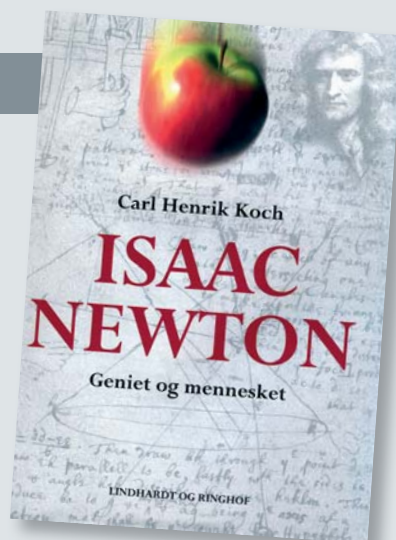
Hvad er et geni? En person, der udviser ekstraordinær stor kreativitet og originalitet, kalder vi et geni, og vi ved alle, at Newton var et sådant og det på grund af sine bidrag til Mekanikken: bevægelseslovene og loven om den universelle gravitation.

Men i Carl Henrik Kochs moppedreng af en biografi om Newton bliver vi præsenteret for en kæmpe stor overraskelse: Nemlig, at det, der markerede Newtons store genialitet, blev udarbejdet i løbet af blot et par år af et langt liv, der ellers blev anvendt med stor flid til de rigtig vigtige teologiske og alkymiske studier. Carl Henrik Kochs bog afspejler i dens behandling af stoffet også den skæve fordeling ved at bruge mindre end 100 sider af de i alt 700 på en gennemgang af hovedværket *Principia* fra 1687. Til gengæld en fin gennemgang af den anvendte metode, og Newton bereder os en ny overraskelse: ingen smart differentialregning, men tung tekst og besværlig geometri. Når det overrasker, er det naturligvis, fordi vi ved, at det jo var Newton, der opfandt infinitesimalregningen i form af fluxioner og fluenter. Så hvorfor brugte han den så ikke i et af sine hovedværker? Årsagen var, at ingen af de potentielle læsere kendte den!

Værkerne og mennesket

Newtons andet store værk med fysikindhold er *Opticks* fra 1704, hvori han på tryk fremsætter sine idéer om lysets "korpuskulære natur". De byggede på Gassendis tidligere fremsatte tanker og Newtons egne forsøg fra Royal Society i 1670'erne. Da han var meget optaget af sollysets farver og deres perception, vakte bogen stor interesse i kunstnerkredse og blev langt hurtigere end *Principia* udbredt på kontinentet.

Principias udbredelse blev bremset af dens modstrid mod Descartes' på den tid alment accepterede hvirvelhypotese for planetbevægelsen. I den forbindelse savnede jeg i bogen en gennemgang af denne hypotese, hvis indflydelse var så stor, og så kunne til gengæld omtalen af antikvitetens tænkere være gledet ud. Specielt er forekomsten af Aristoteles' forkerte opfattelse af alting med fysisk indhold uheldig. Som man vil huske gik Bertel Haarder under



en tur i Tivoli således i vandet på anvendelsen af Aristoteles' hypotese for det frie fald.

Sir Isaac var i skrift en meget privat person, så hans menneskelige egenskaber kommer tydeligst frem ved tykning af hans reaktioner over for hans samtidige kolleger: naturfilosofferne. Og de var oftest ikke gode. Afvigende opfattelser blev i højeste grad modtaget med tavshed, men oftest med en fornærmet og krænkert attitude. Der var adskillige stridsspørgsmål, som fx med Robert Hooke om faderskabet til gravitationen; dog især med Gottfried Leibniz om faderskabet til differentialregningen. Det indtryk, som man får under læsningen er, at han var en stridbar og rethaverisk person.

Et på alle måder stort værk

For typografiens skyld er det belejligt, at *Principia* ikke indeholder formler, da de øjensynligt endnu i 2013 volder problemer i trykkeprocessen. Dette fremgår af omtalen af *Opticks* i bogen, hvor de få formler, der er, er svært læselige. I det hele taget virker referatet af *Opticks* usikkert i den nødvendige skellen mellem spejling (reflexion), brydning (refraktion), bøjning (diffraktion), farvespredning (dispersion) og bølgeblanding (interferens). Desuden mangler "sinus" i Snells lov.

Efter disse sure opstød må man imidlertid ikke forledes til at tro, at det ikke på alle måder er et stort værk, vi her har fået på dansk. I studiet af Newtons produktion er det en guldgrube, som man i fremtiden vil kunne gøre frugtbare fund i. Derfor, hvis man tilhører målgruppen af alment kulturelt interesserede læsere, så køb bogen! Forfatterens behandling af sproget giver læseren en ubesværet læseoplevelse, hvor indsatsen kan fokuseres helt på indholdet og med et stort udbytte.

Carl Henrik Koch: *Isaac Newton – geniet og mennesket*. Lindhardt og Ringhof 2013. 768 sider, 399,95 kr. ■



Som at tilstå et mord

Evolutionsteorien er en af de helt store naturvidenskabelige teorier. I denne 2. udgave af bogen *Som at tilstå et mord*, fortæller Hanne Strager fra Statens Naturhistoriske Museum om alle de brikker, Darwin samlede sammen til sin store teori om livets udvikling.

Hanne Strager: *Som at tilstå et mord – Darwin og idéen, der forandrede verden*. 2. udgave. 208 sider, 149,95 kr.



Vi, de jordbundne

Den 4. april i år havde De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, GEUS, 125 års jubilæum. I den anledning er der udgivet en bog med glimt fra institutionens 125 år lange historie med udforskning af undergrunden – først i Danmark og senere i Grønland og Færøerne. Bogen giver et indblik i organisationen og dens samfundsmæssige betydning i fortid og nutid, samt dens mulige bidrag til løsning af fremtidige udfordringer for samfundet, når det gælder den jord, vil lever af og på.

Jens Morten Hansen og Henrik Højmark Thomsen (red): *Vi, de jordbundne – glimt af GEUS gennem 125 år (1888-2013)*. GEUS, 2013. 160 sider, 180,- 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
- **Steffen Longfors**, konstitueret kommunikationschef, AU Kommunikation, Science and Technology, Aarhus Universitet
- **Carsten Nielsen**, videnskabsjournalist, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet

Redaktionsgruppe

- **Mette Christina Møller Andersen**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Michael Bjerring Christiansen**, Aarhus Statsgymnasium
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **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
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk 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

Konstitueret kommunikationschef Steffen Longfors

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: aktuelnaturvidenskab.dk

Layout og illustration: Britta Munter

Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S

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

Oplag: 8.800



Omslagsfoto:

Kiselalgen *Chaetoceros atlanticus* set under lysmikroskop.

Foto: Niels Daugbjerg.

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 Naturfagenes 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



Tilbud til gymnasieskolen



Nyt tilbud til gymnasieskolen:

Modtag fx. en pakke med 20 blade til alle interesserede lærere. Pris eksklusiv moms: kun 950 kr. (omfatter 6 numre/udgivelser samt adgang til de nyeste pdf-versioner). Se flere tilbud og bestil via: aktuelnaturvidenskab.dk eller abo@aktuelnaturvidenskab.dk eller på tlf. 70 25 55 12.

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.

Adgang til pdf-udgave

Som noget helt nyt kan abonnenter nu hente artiklerne som pdf allerede på udgivelsesdagen via hjemmesiden:

Brugernavn: **aktuel-nat**

Kodeord: **oej96kjo**

Du logger på via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk hvor du vælger punktet "Nyeste numre" (2-2013). Herefter kan du logge på i højre side.

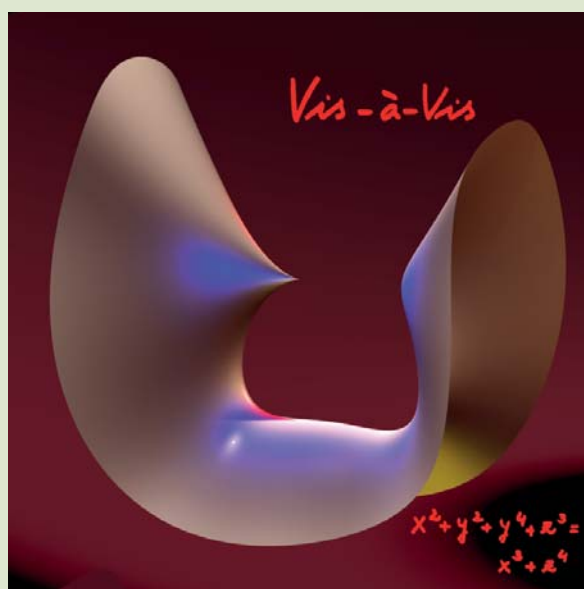
Ny udstilling

SMUK matematik

På Steno Museet i Aarhus kan man frem til slutningen af august i år opleve kunst og matematik i skøn forening. Udstillingen IMAGINARY, der er en interaktiv, omrejsende udstilling, oprindeligt lavet af det matematiske forskningsinstitut Oberwolfach i Tyskland, indeholder matematiske illustrationer, visuelle interaktive installationer, 3D-objekter og deres teoretiske baggrund. IMAGINARY er med andre ord en videnskabelig kunstoplevelse.

Udstillingen har besøgt mere end 60 byer i 15 lande, siden den første gang blev vist i forbindelse med "matematik-året" i Tyskland i 2008. I anledning af Dansk Matematisk Forenings 140 års jubilæum er IMAGINARY nu kommet til Danmark. Det er Grundforskningscentret QGM og Institut for Matematik ved Aarhus Universitet, der i samarbejde med Dansk Matematisk Forening har taget initiativ til at få udstillingen til Danmark. Man kan finde og gratis downloade alt indhold såsom programmer og billeder på IMAGINARY's hjemmeside: www.imaginary.org

Se åbningstider på stenomuseet.dk



Udstillingen IMAGINARY indeholder farvestrålende billeder, computeranimationer og 3-dimensionale objekter, som alle har det til fælles, at de er baseret på forskellige matematiske fænomener og strukturer. Billederne m.v. er altså ikke et udtryk for en kunstners fantasi, men den rene og skære matematik.

Lystønde med bijob...

Af Niels Hansen, DMI. E-mail: nsh@dm.dk

Når videnskabsfolk har brug for at måle strømretning og -styrke i havet, bruger de instrumenter bygget ind i bøjer. Bliver bøjen kulsjlet af et skib, er det bare ærgerligt, men det er jo heller ikke så sandsynligt på det store ocean. Anderledes forholder det sig i tæt trafikerede farvande som Storebælt og Øresund, hvor præcis strømmåling samtidig er vigtig for at undgå, at skibene torpederer broerne. Netop derfor måler DMI løbende strømmen to steder i Storebælt og ét i Øresund. Tidligere blev der anvendt skrøbelige videnskabelige bøjer til formålet, men da de er lette at overse, måtte de flankeres af tre andre bøjer for at råbe skibstrafikken op.

»Løsningen var at bygge strømmåleren ind i en af de lystønder, der allerede ligger omtrent 400 af i danske farvande«, fortæller tekniker Finn Milvertz fra DMI, som har stået for udviklingen. Lystønder er flydende sømærker, så deres opgave er at blive set.

Bøjen på mobilen

Udviklingen af den indbyggelige strømmåler tog 18 måneder. Men det er heller ikke helt ligetil at parre en strømmåler med en lystønde af jern. Strømmåleren indeholder et følsomt kompas for at få retningen af strømmen korrekt.

»Vi flyttede strømmåleren lidt rundt på tøndens for at se, hvor kompasset blev påvirket mindst«, forklarer Finn Milvertz. »Det bedste sted var på toppen af tøndens. Men der kan man ikke måle strømhastighed fra. Derfor måtte vi skille strømmåleren ad, så måledelen, der sender ultralyd ned i vandsøjlen for at måle strømprofilen, endte nederst i tøndens. Derfra trak vi en forbindelse til toppen af tøndens, hvor vi placerede kompasdelen«.

Heller ikke dataleveringen til DMI var problemfri. Der var behov for en kabelfri løsning, der kunne levere hvert 10. minut. »Vi endte med at benytte mobilnettet og GSM-GPRS-protokollen.

Bøjen ringer os op hvert tiende minut, afleverer en pakke data og lægger røret på igen«.

Bøjens mobiltelefon kunne dog ikke tåle at være tændt konstant. Efter nogle dage gik systemet ned. Finn Milvertz' lavpraktiske løsning var et helt almindeligt tænd/sluk-ur. Det er ren Storm P, men det tænde med bijob som strømmåler.

Strøm bruger sådan en bøje også. Og man skulle man tro, at solpaneler var den åbenlyse løsning. »Nix«, siger Finn Milvertz. »Genopladelige batterier udvikler meget giftige dampe ved kontakt med saltvand. Teknikeren skal ikke risikere et pift giftgas i hovedet, når han åbner en bøje, der viser sig at være utæt«.

EN kæmpe Duracell-kanin

Heldigvis har en lyserød trommeslagerkanin introduceret løsningen. Tro det eller ej – lystønden og strømmåleren er drevet af Duracell-batterier. Ikke et, ikke fire, men flere pakker med hver flere hundrede batterier. De stables i en reol i bøjen og forbindes.

»I en Duracell-pakke er der strøm til lystønden i omkring 50 år. Bøjen skal dog serviceres længe før – blandt andet fordi malingen falmer«, slutter Finn Milvertz.

Lystønden har målt strøm i Østerrenden lige nord for Storebæltssbroen siden december 2012. Lige nu er der ikke planlagt flere af samme type, men går en af de to oprindelige stationer i stykker, så har Finn og hans bijobbende lystønde løsningen klar.



Storm P. ville elske det. Mange hundrede Duracell-batterier udgør strømforsyningen.



Det kræver sin mand, at få udstyret placeret i lystønden samt en god kollega, som kan hjælpe.



Den ultrasoniske strømsensor – dvs. selve måledelen, som er placeret under bunden af lystønden.



Lystønden slippes fri i Storebælt – nu med strømmåler.

Fotos: DMI og Søfartsstyrelsen