

# Aktuel NATURVIDENSKAB

4 | SEPTEMBER | 2014

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00

Nanomagneter - størrelsen betyder noget

Nyt verdenskort afslører trusler mod naturen

Rundetårn og kikkerten – nyt lys på gammel historie



Hvor blev alle  
de store dyr af?

# Eventmageri i forskningen

**Galathea 3 blev den hidtil største kombinerede forsknings- og formidlingsindsats, men der er ikke interesse for at evaluere indsatsen. Derfor bør forskerne selv overveje, om de skal deltage næste gang.**



Af Jens Olaf Pepke Pedersen, ph.d. i atomfysik og seniorforsker på DTU Space. jopp@space.dtu.dk

Danmark har vi en fornem tradition for videnskabelige ekspeditioner, ikke mindst i udforskningen af Grønland og med højdepunkter som den arabiske rejse i 1761-67 og Galathea i 1845-47. De store verdens ekspeditioner, hvor man drog ud for at opdage nyt land og nye kulturer, havde imidlertid deres storhedstid i 1800-tallet. I dag er der så mange specialbyggede forskningsfartøjer, der konstant sejler havene tynde, at da Galathea 3 i august 2006 begyndte sit otte måneder lange togt, var den som videnskabelig ekspedition for længst blevet en anakronisme.

## Dobbelt formål

Ideen til Galathea 3 blev da heller ikke født i forskerkredse, men på Morgenavisen Jyllands-Posten, og den fik hurtigt bred politisk opbakning. På forbavsende kort tid lykkedes det at samle 250 mio. kr. fra offentlige og private kasser til projektet, som ifølge et aktstykke i Folketinget fik et dobbelt formål: Et videnskabeligt, hvor man skulle følge op på de to tidligere Galathea-ekspeditioner og gennemføre "relevant forskning", og et formidlingsmæssigt, hvor ekspeditionen skulle styrke interessen for naturfagene i undervisningssektoren.

Galathea 3 blev dermed den hidtil største kombinerede danske forsknings- og formidlingsindsats, og man kunne derfor også forvente, at der ville være interesse for at evaluere, hvad der kom ud af den store investering. Men efter hjemkomsten har kun Dansk Folkeparti forsøgt at opklare, om man kunne lære noget af historien. I 2009 fik daværende forskningsordfører Jesper Langballe (DF) således videnskabsminister Helge Sander (V) til at love, at der ville komme en evaluering af forskningsresultaterne. Sander mente dog med henvisning til, at man stadig var i gang med at analysere data fra den anden Galathea-ekspedition i 1950-52, at en evaluering tidligst ville give mening efter fem år.

## Forskningsevaluering blev aflyst

I efteråret 2012 spurgte Jens Henrik Thulesen Dahl (DF) derfor igen til evalueringen, men nu mente forskningsminister Morten Østergaard (RV), at det måtte være nok med en spørgeskemaundersøgelse blandt togtets projektledere. Det resulterede i en kort rapport, som udkom i stilhed sidste sommer. Heldigvis viste rapporten, at 34 ud af 38 projektledere selv syntes, at ekspeditionen i nogen grad eller i høj grad havde ført til ny indsigt, og heraf havde de 31 identificeret nye forskningsspørgsmål. En citations-

analyse af de i alt 82 artikler, som på det tidspunkt var kommet ud af ekspeditionen og som kunne findes i *Web of Science*, viste desuden, at citationerne var på niveau med øvrige danske forskningsartikler.

Konklusionen må derfor være, at forskningen var af god kvalitet, og at deltagerne stort set var tilfredse. Men om det også var den optimale udnyttelse af en kvart milliard forskningskroner forbliver ubesvaret.

## Formidlingen blev en fiasko

Den politiske interesse for at evaluere det andet hovedformål – formidlingen – har været ikke-eksisterende. Tankegangen var ellers, at hvis man satte forskere og journalister sammen på et skib, ville det give en masse nye og friske historier. Efter hjemkomsten erklærede skibschef Lars H. Hansen og en af togtlederne imidlertid formidlingen for en regulær fiasko, og mange andre, blandt andet Bertel Haarder, har været ude med en tilsvarende kritik.

Som en del af sit specialeprojekt analyserede geofysiker og videnskabsjournalist Charlotte Autzen næsten 1.000 artikler om Galathea 3, og ifølge Videnskab.dk konkluderede hun, at ekspeditionen "politisk set har været en ualmindelig naiv konstruktion". Problemet var ifølge Autzen, at medierne tog deres normale arbejdsvaner med ombord, hvor de søgte konflikter og sensationelle opdagelser. Kun ganske få artikler skabte et så spændende billede af forskerlivet, at det kunne lokke unge ind på de naturvidenskabelige uddannelser.

## En forskningsevent?

Galathea 3 var et top-down projekt, hvor rute og tidsplan var lagt fast, og så kunne forskerne ellers melde sig til på de strækninger, der havde deres interesse. At Galathea 3 ikke altid var lige vigtig som platform fremgår af, at man som følge af Muhammedkrisen måtte foretage en større ændring af ruten, ifølge Ekspeditionsfonden fik det ingen betydning for forskningen, og de planlagte projekter blev i stedet gennemført "ved flytransport".

Måske kan man bedst betegne Galathea 3 som en "event", som vi ellers mest kender det fra kulturlivet. I fravær af en egentlig evaluering af projektet kan man frygte, at eventmageriet vil brede sig yderligere til forskningsverdenen. Så man må vel blot opfordre forskerne til at overveje, om de en anden gang skal sige, at de hellere vil have et par flybilletter i stedet for. ■

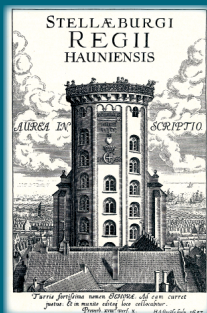
## 8 Nanomagneter – størrelsen betyder noget!

Små stærke magneter anvendes i et utal af teknologiske produkter i dag. Desværre er fremstillingen af de bedste magnetiske materialer afhængig af sjældne jordarter, og derfor er der stor interesse for at udvikle nye magnetiske materialer lavet af billige grundstoffer.



## 44 Rundetårn og kikkerten?

Den gængse historie om det astronomiske observatorium på Rundetårn fortæller, at Rundetårn oprindeligt var udstyret med en kikkert, som dengang var et nyt og innovativt instrument. Men der var ingen kikkert på Rundetårn fra start. Først i slutningen af 1600-tallet vandt kikkerten indpas i dansk astronomi.



# Indhold

## FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
Drilske kulderekorder .....	8
Nanomagneter – størrelsen betyder noget! .....	14
Virtuelle beregninger skal give bedre knæ.....	20
Hvor blev alle de store dyr af?.....	22
Nyt verdenskort afslører trusler mod naturen .....	28
Når isen “går i sort” .....	32
Flyver vandløbets insekter mod strømmen? .....	39

## PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: Eventmageri i forskningen?.....	2
Forskende film .....	37
Rundetårn og kikkerten – nyt lys på gammel historie ..	44
Boganmeldelser: <i>Invitation til matematikkens videnskabsteori</i> samt <i>Folk og fortællinger fra Det Tabte Land. Bd 2: Øerne</i> ..	49
Bagsiden: Smag på naturvidenskaben .....	52



## 22

### Hvor blev alle de store dyr af?

Mennesket er årsagen til, at faunaen i Europa, Amerika og Asien er fattig på store pattedyr. En minutiøs gennemgang af den videnskabelige litteratur for information om de store pattedyrs udbredelse og uddøen viser entydigt, at deres forsvinden er nært koblet til det moderne menneskes spredning verden over.

## Ny én-foton-kanon til kvanteteknologi

Forskere ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, har udviklet en optisk chip med en integreret "foton-kanon", som gør det muligt at udsende en kontrolleret strøm af enkelte fotoner i en bestemt retning. Det er et vigtigt skridt mod udviklingen af fotoniske kredsløb – dvs. integrerede kredsløb baseret på lys – som er grundlaget for såkaldt kvanteteknologi.

Traditionel elektronik er baseret på elektroner (der er såkaldte fermioner), som uden problemer kan strømme af sted enkeltvis. I modsætning hertil er fotoner såkaldte bosoner, som helst klumper sig sammen. Da det er de enkelte fotoner, der skal bære informationen i fotoniske kredsløb til kvantekommunikation, er det derfor nødvendigt at kunne sende fotonerne af sted en ad gangen og i en bestemt retning. Det er netop denne kontrol, det er lykkedes Peter Lodahl og Søren Stobbe samt deres kolleger ved forskningsgruppen Kvantefotonik på Niels Bohr Institutet at opnå med deres nye chip.

Den optiske chip består af en ekstremt lille fotonisk krystal, som er 10 mikrometer i bredden og 160 nanometer tyk. Inde i midten af chippen er der indlejret en lyskilde – et såkaldt kvantepunkt, der i praksis består af en samling af atomer. Når forskerne lyser med en laser på kvantepunktet, anslås elektroner i kvantepunktet, og de kan hoppe fra

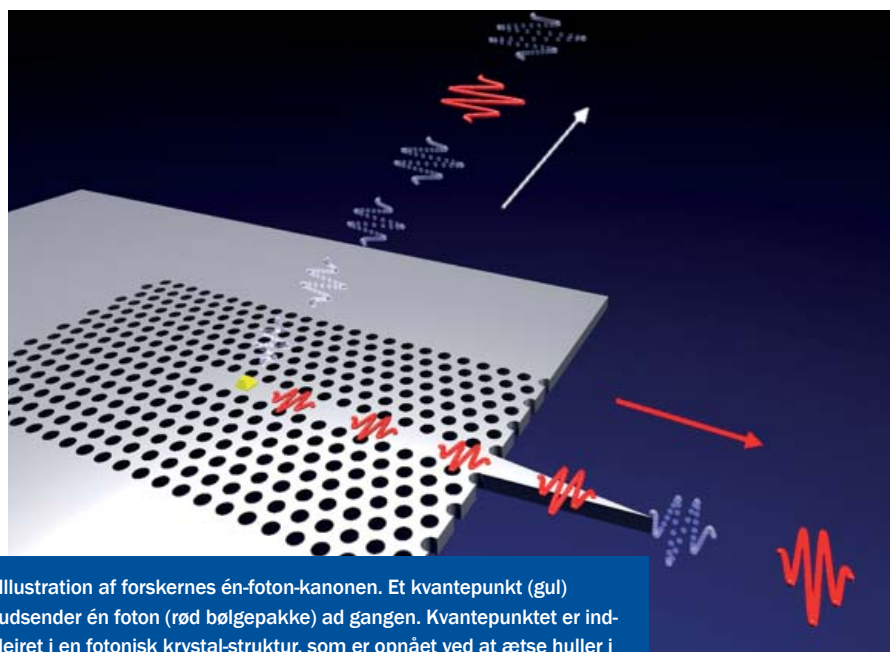


Illustration af forskernes én-foton-kanonen. Et kvantepunkt (gul) udsender én foton (rød bølgepakke) ad gangen. Kvantepunktet er indlejret i en fotonisk krystalstruktur, som er opnået ved at ætse huller i et halvleder-materiale. Kun 1,6 % af de udsendte fotoner vil udsendes i andre retninger (illustreret ved opadgående foton) og dermed tabes, mens 98,4 % udsendes i den ønskede retning.

Illustration: Marta Arcari, NBI

en bane til en anden og derved udsende lys i form af en foton. På grund af den fotoniske krystalstruktur, som er opnået ved at ætse huller i et halvleder-materiale, kan fotonerne ikke udsendes i alle retninger, men kun langs den kanal, hvor hullerne er udeladt. Chippen er så effektiv, at mere end 98,4 % af fotonerne styres i den ønskede retning. Ifølge forskerne

har en sådan foton-kanon længe været efterspurgt i forskningsfeltet, da den vil åbne for nye fundamentale eksperimenter og ny teknologi, der vil være direkte anvendelig til kryptering eller beregninger af komplekse kvantemekaniske problemer.

CRK, Kilde: Pressemeddelelse fra NBI/  
Phys. Rev. Lett. 113, 093603 (2014)

## Dystre tal for Natur og Teknik

Ugebladet Ingeniøren kunne for nylig referere en noget nedslående undersøgelse, hvis man bekymrer sig om den naturvidenskabelige dannelse i samfundet. Det viser sig nemlig, at faget Natur og Teknik næstefter Kristendomskundskab har den dårligste "kompetencedækning" i folkeskolen. Oversat til almindelig dansk betyder det, at Natur og Teknik er et af de fag, hvor flest timer bliver varetaget af lærere, der reelt ikke er kvalificeret til at undervise i netop det fag. Det viser Undervisningsministeriets egen undersøgelse *Kompetencedækning i Folkeskolen 2013/2014*. Og det er jo ikke så godt, hvis man gerne vil have, at skoleeleverne møder en engageret og inspirerende lærer, der kan grundlægge en livslang interesse for de naturvidenskabelige og tekniske fag.

I forlængelse af rapporten foranledigede ingeniørforeningen IDA, at UniC foretog en særkørsel af data fra undersøgelsen for at se, hvordan kompetencedækningen fordelte sig på kommunerne. Her blev det afsløret, at tallene dækkede over store forskelle mellem landets 98

kommuner. Klassens duks viste sig at være Stevns Kommune, hvor læreren har de rette kvalifikationer i 85 % af timerne – mens Høje Taastrup som en af de store kommuner lå i bunden med kun 25 % af timerne dækket af lærere med de rette kompetencer. Noget overraskende lå både Københavns og Aarhus Kommune under landsgennemsnittet (på 51 %), selvom man næppe her kan undskylde sig med, at det er svært at tiltrække lærere med de rette kompetencer. Så noget tyder på, at det stadig også handler om en manglende lyst til at prioritere faget på de enkelte skoler.

CRK, Kilde: *Ingeniøren*, 28. august. Undervisningsministeriet: *Kompetencedækning i folkeskolen, 2013/2014*

## Mikrober laver drypsten

Drypsten er et af naturens spektakulære fænomener, når de optræder som store, kunstneriske formationer i vældige huler. Den traditionelle forståelse af dannelsen af drypsten er, at de skabes af geokemiske processer, hvor mineraler (i langt de fleste tilfælde kalk) opløst i vand udfældes, når vandet langsomt siver ud i sprækker og huler i jorden. På den måde vokser drypstenene ganske langsomt (kun få cm om året).

Et internationalt forskerhold med deltagelse af forskere fra Nordisk Center for Jordens Udvikling (Nord-CEE) ved Syddansk Universitet har nu afsløret, at mikroorganismer spiller en aktiv og hidtil upåagtet rolle i dannelsen af drypsten. Forskerne har undersøgt Tjuv-Antes grotta i det nordlige Sverige, som er ca. 30 meter lang, og hvor der findes drypsten på bjergarterne i den inderste del af hulen. Forskerne opdagede, at drypstenene består af adskilte lag, som afspejler, hvordan drypstenene er vokset gennem tiden. Mørke lag består af fossile mikroorganismer og lyse lag består af mineralet calcit ( $\text{CaCO}_3$ ). Forskerne konkluderer, at mikroorganismerne ikke bare levede på overfladen af drypstenen – de skabte dem.

Lagene viser, at mikroorganismerne var mest aktive i foråret og sommeren, hvor regnen dryppede ned gennem jorden og ind i hulen. Vandet bragte næringsstoffer med sig, som blev optaget af mikroorganismerne. Det fik dem til at udskille kalk, som aflejredes og med tiden



Der tages prøver med hjem. Loftet i hulen har små dråbe-lignende fremspring, som med tiden vil blive til drypsten. En mørk biofilm bestående af mikroorganismer kan ses på overfladen.

Foto: Johannes Lundberg

blev der dannet drypsten. Forskerne mener, at uden denne mikrobielle aktivitet ville drypstenene være mindre – eller måske ville de slet ikke eksistere.

Birgitte Svennevig. Kilde: *International Journal of Speleology*, 43: 305-313.

## SES VI TIL NAT-DAG PÅ RUC ONSDAG D. 24. SEPTEMBER?

Ellers inviterer vi igen gymnasier, HF og HTX indenfor til en dag med naturvidenskab onsdag den 4. marts 2015.

På Nat-dagen kan du og dine elever opleve spændende foredrag, deltage i eksperimenter i vores nye laboratoriebygning og diskutere naturvidenskabelige problemstillinger med forskere og studerende.

Læs mere på:

[nat-dag.ruc.dk](http://nat-dag.ruc.dk)



## Industrirobotter skal genoptræne patienter

Robotter skal ikke kun arbejde på fabrikker, de skal nu også gøre gavn som personlige trænere i genoptræningscenteret. Industrirobotter har nemlig et stort potentiale for at genoptræne patienter, som har mistet førligheden efter fx en blodprop eller hjerneblødning.

Forskere fra Mærsk Mc-Kenney Møller Institutet på Syddansk Universitet er derfor gået i gang med at programmere en industrirobot-arm til at være træningspartner for patienter, som ikke selv har kræfter til at løfte deres arm. Robotten programmeres til at fornemme, hvor meget hjælp patienten skal have for at træne sin arm.



Robotten er programmeret til at fornemme, hvor meget hjælp patienten skal have for at træne sin arm.

En almindelig træningsmaskine kræver, at patienten har kræfter til som minimum at løfte armens egen vægt, mens en robot kan indstilles til at hjælpe med at løfte. Det giver helt nye muligheder for de svageste patienter.

Det er første gang, at forskerne udnytter industrirobotter til genoptræning, og der er et stort behov for at udvikle træningsrobotter, da de svageste patienter i dag ikke har mange genoptræningsmuligheder. Derfor er lektor Anders Stengaard Sørensen, der står bag projektet, ikke i tvivl om, at robotterne bliver fremtidens foretrukne hjælp til genoptræning:

»Som udgangspunkt bliver de svageste genoptræningspatienter tilbudt genoptræning i vand, men det er meget dyrt, fordi hver patient

skal mandsopdækkes af en terapeut. Derudover er exoskeletter, som er en form for robotdragter, ved at komme på markedet, men de er også meget dyre,« siger han.

Forskernes grundidé er at gøre robot-genoptræning billigere og dermed mere tilgængeligt ved at gøre brug af robotter, som allerede anvendes i industrien.

Mette Christina Møller Andersen, SDU TEK

## Sæler i havmølleparken

Vindmølleparker og dyreliv er normalt ikke en god kombination, men nu ser det ud til, at i hvert fald sælerne ligefrem er blevet glade for at besøge havmølleparkerne. Det er dog ikke selve vindmøllerne, men de fundamenter under havoverfladen, som møllerne står på, der har fanget sælernes interesse. Bag opdagelsen står en international gruppe af biologer, som har udstyret sæler langs den britiske og hollandske nordsøskyst med små radiosendere.

Det viste sig nemlig, at når sælerne kom ind i havmølleparkerne, opholdt de sig helst tæt ved fundamenterne og afsøgte næsten systematisk parken ved at svømme fra fundament til fundament i et rektangulært mønster. Forskerne antager derfor, at der er gode fødemuligheder ved fundamenterne, og det viste sig også, at sælerne var meget effektive til at navigere rundt i havmølleparkerne. Undersøgelsen kunne dog ikke afgøre, om de undersøgte fundamenter også øger produktionen af fisk, fordi de fungerer som kunstige rev, eller om de blot tiltrækker den eksisterende bestand, og dermed gør det lettere for sælerne at fange fiskene.

Lidt mere mystisk er måske et andet resultat af forsøget, der afslørede, at nogle sæler også har fundet på at svømme langs med undersøiske rørledninger og i flere tilfælde helt op til ti dage ad gangen. For-



Sæler udstyret med radiosendere afslører, at sælerne viser stor interesse for fundamenterne på havvindmøller.

Foto: Current Biology, Russell et al.

skerne har ikke kunnet finde på en god forklaring på sælernes interesse for rørledninger, men eftersom de samme sæler flere gange vendte tilbage for at svømme langs rørene, går forskerne ud fra, at det i hvert fald for de pågældende sæler har været en succesfuld måde at søge efter føde på.

Jens Olaf Pepke Pedersen, DTU Space  
Current Biology, 21. juli <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2014.06.033>

# Gratis T-shirt

Kunne du tænke dig denne T-shirt? Vi har nogle få tilbage, som vi giver kvit og frit til gymnasielærere i naturvidenskabelige fag.

Send navn, størrelse og adresse på gymnasiet, hvor du underviser, til [mcm@tek.sdu.dk](mailto:mcm@tek.sdu.dk), så sender vi en gratis T-shirt til dig (uddeles efter først-til-mølle-princippet).

På billedet ses Lene Fjerbæk, der underviser på ingeniøruddannelsen i Kemi og Bioteknologi på SDU.

PS. Læs om vores brobygningstilbud som fx faglige oplæg, workshops og laboratorieforsøg på [www.sdu.dk/tek/brobygning](http://www.sdu.dk/tek/brobygning)



## Første film af et proteinskælv

Et af naturens mysterier er, hvordan planter overlever at blive ramt af de enorme mængder energi, der er i Solens stråler, samtidig med at de udnytter selv samme energi i fotosyntesen. Hypotesen er, at de lysabsorberende proteiner i bladene lynhurtigt spreder energien ud i hele proteinmolekylet gennem rystelser, såkaldte proteinskælv. Nu er det lykkedes et internationalt team af forskere med dansk deltagelse at "filme" processen og dermed bekræfte hypotesen.

Sammen med forskere fra bl.a. Stanford Universitet og Gøteborg Universitet har Tim Brandt van Driel og Kasper Skov Kjær fra DTU Fysik undersøgt, hvad der sker i et fotosynteseprotein fra en bakterie, når det rammes af sollys. Ved hjælp af en fri elektronlaser, der sender impulser med en varighed på under 100 femtosekunder (et femtosekund =  $10^{-15}$  sek.) af sted, lykkedes det forskerne at filme de omtalte proteinskælv. Hermed kunne de vise, at proteinerne ændrer struktur under et proteinskælv og på den måde fordeler solenergien jævnt og uskadeligt ud over hele proteinet.

Ud over at bekræfte hypotesen om proteinernes overlevelsestrategi er forsøget samtidig en del af metodeudviklingen til undersøgelse af fotosynteseproteiners lysabsorption og elektronoverførsler, der igen er relevant for udnyttelse af solenergi, fx i solceller og andre lysabsorptionssystemer. De banebrydende resultater er offentliggjort i *Nature Methods*.

Anne Hansen, Kommunikationsansvarlig, DTU Fysik.  
*Nature Methods* 11, 923–926 (2014)



Et af naturens mysterier er, hvordan planter overlever at blive ramt af de enorme mængder energi, der er i Solens stråler.

Videoter kan ses på Natures hjemmeside:  
[www.nature.com/nmeth/journal/v11/n9/full/nmeth.3067.html#videos](http://www.nature.com/nmeth/journal/v11/n9/full/nmeth.3067.html#videos) (kræver abonnement)

# Drilske kulderekorder

Den officielle kulderekord på Jorden er -89,2 grader målt i det antarktiske højland i 1983. Men er det i virkeligheden kulderekorden? Og hvorfor er det svært at måle den slags?

Den russiske forskningsstation Vostok ligger i 3488 meters højde og 1283 km fra den geografiske sydpol og er bemandet året rundt. Forskningsstationen har målt temperaturer næsten uden ophold, siden den blev etableret af det tidligere Sovjetunionen i 1957, og har dermed leveret et unikt klimadatasæt fra et område, der ellers er sparsomt med data fra.

Når det er sommer på den nordlige halvkugle, er det som bekendt vinter på den sydlige, og i perioden fra 23. april til 21. august ligger Vostok i mørke døgnet rundt. Derfor er det i og omkring dette tidsrum, at der måles de laveste temperaturer. Og den 21. juli 1983 målte man ved Vostok den laveste temperatur på Jorden, nemlig -89,2 °C. Men måske er denne kulderekord faktisk siden blevet slået.

## Nye kulderekorder?

En gruppe amerikanske forskere har for nyligt studeret usædvanlige revner på sneoverfladen af den højeste del af den østantarktiske iskappe, som man mener skyldes den ekstreme kulde. Man ønskede et bud på, hvor koldt det kunne blive her, men desværre havde man ikke konventionelle temperaturmålinger på stedet.

I stedet estimerede man temperaturen ud fra målinger fra forskellige satellitter lidt over 30 år tilbage i tiden. Disse blev publiceret sidste år, og data fra den nye Landsat 8 satellit (i operationelt kredsløb siden 10. april 2013) samt de lidt ældre Terra- (i drift siden 1999) og Aqua- (i drift siden 2002) satellitter, gav meget detaljerede temperaturkort. Kortene afslørede temperaturer helt ned til -93,2 °C i Antarktis. Endvidere fremgik det, at den hidtidige kulderekord fra Vostok blev slået i flere af årene i den lidt over 30 år lange tidsperiode, man havde kigget på.

Men hvor pålidelige er disse temperaturmålinger

fra satellitter, der passerer hundreder af kilometer over Jordens overflade?

## Temperaturmålinger fra satellit

Enhver overflade udsender varmeenergi i den langbølgede del af strålingsspektret. Den udsendte energi er proportional med temperaturen i 4. potens, jævnfør Stefan-Boltzmanns lov (se boks side 10).

Kan man derfor måle den energimængde, en overflade udstråler, kan man også udregne temperaturen ret nøjagtigt, hvis man kender overfladens karakteristisk, og denne tilnærmelsesvis kan betragtes som et sort legeme. Til at måle strålingen fra jordoverfladen fra 750 km's højde er Landsat 8, som forskerne har kigget på data fra, udstyret med den bedste form for infrarøde sensorer, man i dag kan fremstille.

Undervejs fra overfladen (dvs. i Antarktis' tilfælde, fra en iskappe) til satellitten vil noget af strålingen gå tabt, idet en del af den absorberes af atmosfæriske gasser (drivhusgasserne), aerosoler og skyer. En stor del af absorptionen af de atmosfæriske gasser kan man dog slippe for ved at anvende den del af strålingsspektret, man kalder det infrarøde atmosfæriske vindue. Ved netop disse bølgelængder absorberer drivhusgasserne ikke – eller næsten ikke – stråling, og atmosfæren forekommer således næsten transparent. Kun næsten, da ozon absorberer infrarød stråling i dele af "vinduet" og vanddamp i hele vinduet. Imidlertid er luften på Antarktis så knastør, at der stort set kan ses bort fra vanddampens indflydelse. Satellitterne kan derfor med fordel måle i den del af vinduet, hvor ozonen ikke absorberer. Og det er netop, hvad de infrarøde sensorer på landsat 8 gør.

En effekt, der ikke kan ses bort fra, er skyer, idet en sky jo i princippet er en blanding af vanddamp (gas) og bittesmå partikler i form af vanddråber og/



**Forfatteren**  
Jesper Eriksen er meteorolog ved DMI  
je@dmi.dk



Den russiske forskningsstation Vostok, fotograferet i sommerhalvåret, hvor solen i perioden fra den 21. oktober til 21. februar er på himlen døgnet rundt.

#### Temperaturdata for Vostok i perioden 1958-2010:

Måned	Jan	Feb	Marts	April	Maj	Juni
<b>Rekord (høj)</b>	<b>-12,2</b>	<b>-22,9</b>	<b>-35,6</b>	<b>-33</b>	<b>-41,6</b>	<b>-40,1</b>
Daglig middeltemp.	-32,1	-44,3	-57,8	-64,8	-65,7	-65,2
<b>Rekord (lav)</b>	<b>-55,1</b>	<b>-64</b>	<b>-75</b>	<b>-80,4</b>	<b>-80,6</b>	<b>-83,3</b>

Måned	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
<b>Rekord (høj)</b>	<b>-34,1</b>	<b>-36,1</b>	<b>-38,3</b>	<b>-24,5</b>	<b>-23,9</b>	<b>-14,1</b>
Daglig middeltemp.	-66,7	-68	-66,1	-57,2	-42,7	-31,9
<b>Rekord (lav)</b>	<b>-89,2</b>	<b>-85,4</b>	<b>-85,6</b>	<b>-76,1</b>	<b>-62,6</b>	<b>-48</b>

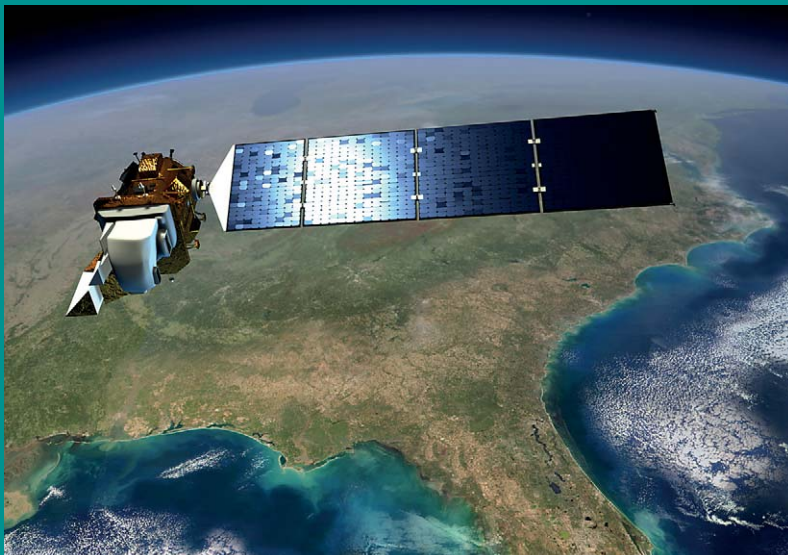
eller iskrystaller. Så selv i det atmosfæriske vindue absorberer skydråberne eller iskrystallerne noget af den stråling, der udsendes fra Jordens overflade. Er det derfor skyet, kan man ikke estimere overfladetemperaturen ud fra satellitdata, med mindre man er i stand til at lave en meget kompleks beregning, der fjerner skyernes effekt i strålingsberegningen. Det er dog ikke noget problem i forhold til at måle kulderekorder, da klart vejr netop er en forudsætning for, at det kan blive rigtigt koldt!

#### Det koldeste sted på Jorden

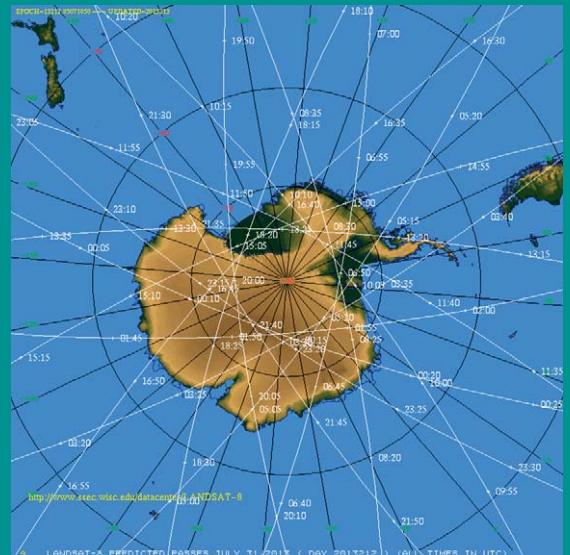
I koldt og klart vejr er temperaturer udregnet ud fra satellitdata altså ret præcise. Nyere satellitter har forbedrede sensorer, og Landsat 8 kan faktisk præstere en måleopløsning på hele 100 m i det udregnede temperaturfelt (som grafisk kan konverteres til 50 m). Herved har man fremstillet det mest detaljerede temperaturkort til dato, der viser små detaljer og afvigelser i temperaturfeltet ved overfladen, selv ved meget lave temperaturer, hvor udstrålingen er meget lav.

Ved sammenligning af disse data fra Landsat 8 og topografiske kort fandt man ud af, at de koldeste temperaturer i Antarktis forekom i lavninger på 2-4 meters dybde og af 5-10 kilometers horisontal udstrækning på en højslette mellem to istoppe (Dome Argus og Dome Fuji) på det Østantarktiske Plateau. Det er et godt stykke fra Vostok og ca. 500 meter højere oppe i terrænet.

Den 10. august 2010 registrerede en satellit så lidt som  $-93,2^{\circ}\text{C}$ , hvilket faktisk er omkring 4 grader under den gamle kulderekord fra Vostok. Problemet er bare, at satellitterne ikke måler selve luftens temperatur, som traditionelt måles i 2 meters højde, men temperaturen af iskappens overflade. Temperaturmålingen fra Vostok er derimod en konventionel måling af lufttemperaturen i 2 meters højde. Ved de optimale betingelser for kulde (som der jo skal



En grafikers fremstilling af den nye Landsat 8 satellit i kredsløb. Modsat de geostationære satellitter dækker Landsat 8 ikke det samme udsnit af Jorden hele tiden, og man må afvente dens passage over det område, man ønsker at undersøge. Satellitten bevæger sig i en sol-synkron bane, og indenfor en cyklus gennemløbes 233 forskellige kredsløb om Jorden, som hver tager 98,9 minutter. Den er dermed 16 dage



om at "dække" næsten hele Jorden. Med undtagelse af selve polerne er dækningen bedst på "høje" bredder. Kortet viser Landsat 8's mange passager over Antarktis den 31. juli 2013. Det fremgår, at selve sydpolen ikke dækkes, men at der har været flere passager over Østantarktis, som i klart vejr kunne bruges til at estimere overfladetemperaturen på iskappen.

Kilde: [http://landsat.usgs.gov/about\\_ldcm.php](http://landsat.usgs.gov/about_ldcm.php).

## Måling af overfladetemperatur fra satellit



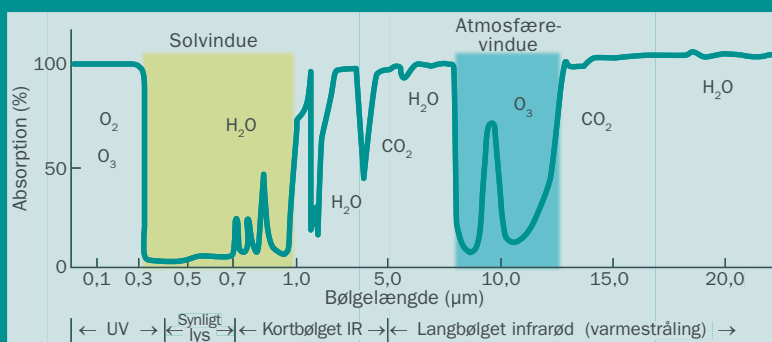
Temperatur kan måles på afstand med infrarøde sensorer. Princippet er beskrevet i Stefan-Boltzmanns lov. Til venstre ses forfatterens egne infrarøde termometre, der er nogenlunde enige om, at flisernes overfladetemperatur er omkring 32 grader varme – dog med en indbyrdes afvigelse på 0,7 grader. At måle overfladetemperaturen fra 750 km's afstand kræver sensorer af en noget anden kaliber! På Landsat 8 satellitten findes bl.a. TIRS-instrumentet. TIRS står for Thermal Infrared Sensor.

### Stefan-Boltzmanns lov

Et sort legeme er et ideelt legeme, som har en overflade, der absorberer alle bølgelængder af den elektromagnetiske stråling, som rammer den. For et sort legeme gælder Stefan-Boltzmanns lov om sammenhængen mellem den udsendte energimængde og temperaturen:

$$I(T) = \sigma \cdot T^4$$

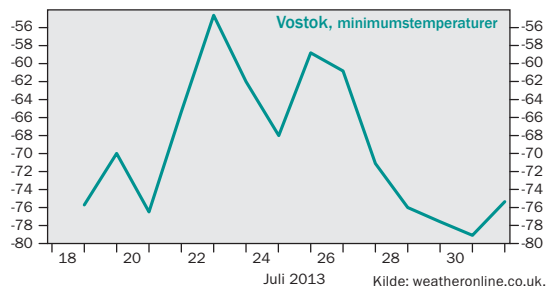
$I(T)$  er den udsendte energi pr. arealenhed pr. sekund i  $W/m^2$ ,  $\sigma$  er Stefan-Boltzmanns konstant =  $5,6705 \cdot 10^{-8} W/m^2$ , og  $T$  er den absolutte temperatur i K (kelvin)



Jordens atmosfære og absorptionen af stråling. En del af det elektromagnetiske spektrum, hvor bølgelængden er afbilledet på x-aksen og den procentvise absorption af udvalgte atmosfæriske gasser på y-aksen. I området markeret med rødt i den infrarøde del af spektret absorberer de atmosfæriske gasser næsten ikke den udsendte stråling. Dette "atmosfæriske vindue" er centralt, hvis man skal beregne overfladetemperaturer fra satellitmålinger.

Kilde: [www.helpsavetheclimate.com/climatetheory.html](http://www.helpsavetheclimate.com/climatetheory.html)

Topografisk kort over Antarktis. De grønne linjer angiver højden over havniveau i intervaller af 500 m overlagt med placering af udvalgte overfladetemperaturer, udregnet ved hjælp af målinger fra satelliter. Det fremgår, at Jordens koldeste sted er lige ved siden af en højderyg på det østantarktiske plateau. Her er der blevet målt helt ned til  $-93\text{ }^{\circ}\text{C}$  – fx den 31. juli 2013.



Imidlertid fremgår det af grafen, at man samme dag kun målte ca.  $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$  ved forskningsstationen Vostok. Selvom området, som de satellitestimerede temperaturer stammer fra, ligger ca. 500 meter højere oppe i terrænet, er højdeforskellen ikke nok til at forklare en temperaturforskel på hele 14 grader. Tager man hensyn til højdeforskellen (ca. 1 grad pr. 100 meter), vil det svare til  $-84\text{--}85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Lægger man lokale effekter til, såsom at kulden altid vil søge mod lokale lavninger i terrænet, kan man måske komme en smule læn-

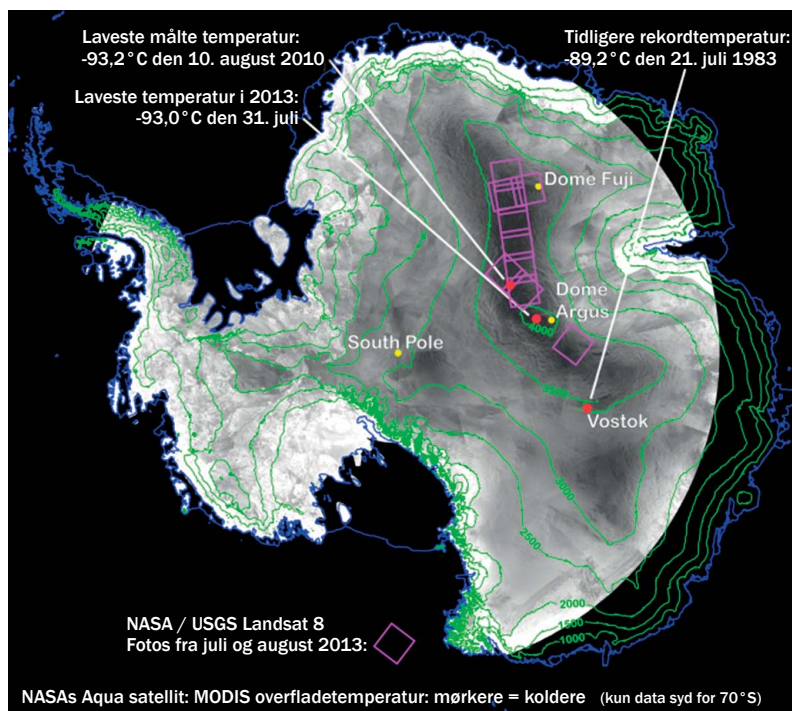
til for at opnå en kulderekord), altså klart og roligt vejr, vil der være flere graders forskel mellem overfladens temperatur og luftens temperatur i 2 meters højde. Vi mærker det selv herhjemme, fx ved at der sagtens kan forekomme rim på græsset eller på bilruden, selvom termometeret i 2 meters højde viser 3-4 plusgrader. Og faktisk isolerer et snelag endnu bedre end græs. Derfor er de satellit-estimerede temperaturer fra Antarktis ikke direkte sammenlignelige med Vostok-målingerne.

Sikkert er det dog, at de omtalte lokale lavninger må være klodens koldeste sted. De amerikanske forskere, der står bag analysen af satellitdata, planlægger i øvrigt også at opsætte automatiske vejstationer på stedet. Herved kan man måle luftens temperatur i forskellige højder for sammenligning med satelliternes data.

Oftest bruges alkoholtermometre til at måle så lave minimumstemperaturer, da alkohol først fryser ved  $-115\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hvorimod kviksølv fryser ved  $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Men man er nok på udkig efter en fuldautomatisk elektronisk løsning. Problemet er bare, at det er meget vanskeligt at fremstille et fuldautomatisk termometer, der kan fungere under den ekstreme kulde uden menneskeligt besøg i hele vintersæsonen.

### Koldeste sted på den nordlige halvkugle?

I vinterhalvåret gennemgår en stor del af Grønland, ligesom Antarktis, en periode med mørke



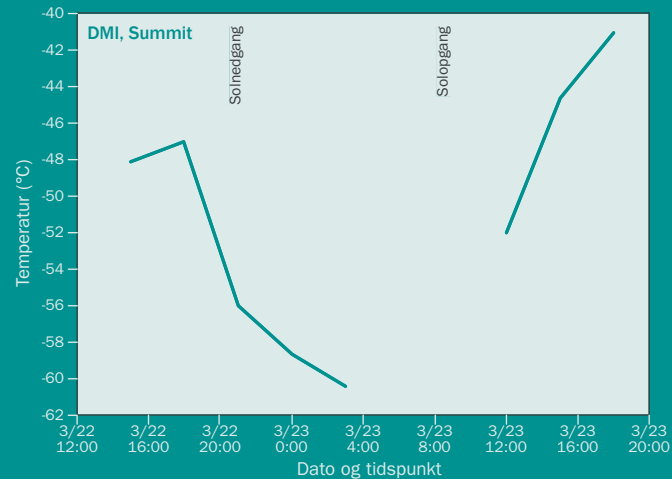
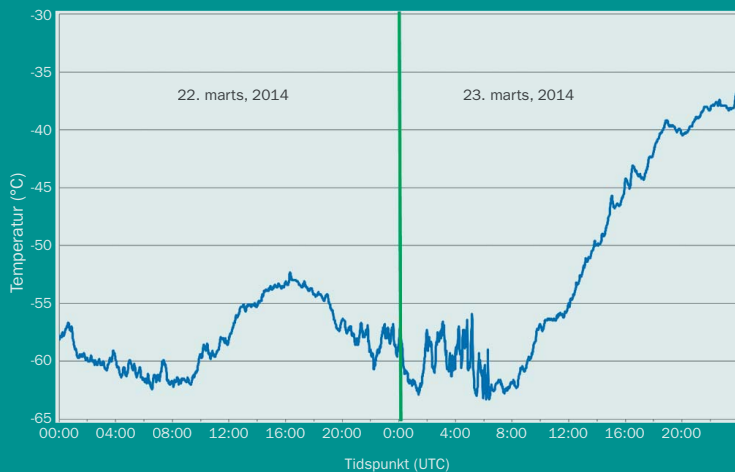
gere ned. Men der er stadig et stykke vej til  $-93$  grader, som derimod nås, hvis man antager at sneens/isens overflade er 4-5 grader koldere end luften i 2 meters højde.

Kilde: Ted Scambos, National Snow and Ice Center, USA.

døgnet rundt. Samtidig ligger der en iskappe, der rager over 3 km op over havniveau. Toppen af den grønlandske indlandsis er derfor en god kandidat til at være det koldeste sted på den nordlige halvkugle. Udsatte steder i Sibirien, Canada og Alaska bejler dog også til dette kandidatur. Men igen er problemet, at der oftest mangler temperaturmålinger, og at de få målinger, der findes, kan have målevanskeligheder ved de ekstremt lave temperaturer.

Den officielle kulderekord for USA og Canada er på  $-62,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  målt i *Snag* i Yukon-territoriet den 3. februar 1947. Man faktisk har man uofficielt målt endnu lavere temperaturer. I perioden 1950-1969 havde folk fra det amerikanske militær sat et termometer op i 4572 meters højde på Nordamerikas højeste bjerg, *Mount McKinley*, i Alaska. Det målte helt ned til  $-73,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , men da ingen vover at gå på bjergbestigning på Mount McKinley om vinteren, har det ikke været muligt at lave en kvalitetskontrol af målingen.

DMI har en automatisk vejstation placeret nær Summit på toppen af den grønlandske indlandsis i omkring 3200 meters højde. Kulderekorden for denne station er  $-63,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  målt den 21. februar 2002. Stationen har dog øjensynlig funktionsproblemer ved ekstremt lave temperaturer, idet den flere gange har sat ud i meget kolde perioder – det



Temperaturmålinger fra den toppen af den grønlandske indlandsis. Her ses målinger fra marts 2014 ved den amerikanske målestation Summit camp, der måler hvert minut og ligger under 2 km fra DMI's målestation. Denne station kunne godt tåle kulden, og det ses, at temperaturen nåede ned omkring  $-63^{\circ}\text{C}$  som det laveste. Hurtige temperatursvingninger på op til 7 grader i den koldeste periode fortæller, at den ekstremt stabile lagdeling er blevet forstyrret, formentlig af svage vindpust.

Temperaturmålinger fra DMI's målestation 04416 i weekenden 22.-23. marts 2014. For at få grønlandsk lokaltid skal man trække 3 timer fra. Målestationen måler kun temperaturen hver 3. time og har ikke et egentligt minimumstermometer. Som det fremgår af grafen var der desværre dataudfald natten til søndag. På Grønland gælder det også, at det i klart og roligt vejr, som det er i dette tilfælde, bliver koldest lige efter solopgang. Derfor kan man antage, at temperaturen i de tidlige morgentimer må have været under  $-60^{\circ}\text{C}$ .

En solopgang den 22. marts 2014, taget fra webcameraet på summitcamp. Det vil dog ikke være smart at nyde den flotte solopgang udendørs i  $-60^{\circ}\text{C}$ .

#### Kilder:

Artiklen er en redigeret udgave af artiklen *Drilske kulderekorder* bragt i Dansk Meteorologisk Selskabs tidsskrift *Vejret*, august 2014.

[http://landsat.usgs.gov/about\\_ldcm.php](http://landsat.usgs.gov/about_ldcm.php)

[www.nasa.gov/content/goddard/nasa-usgs-landsat-8-satellite-pinpoints-coldest-spots-on-earth/#.U4T7WSjSkZy](http://www.nasa.gov/content/goddard/nasa-usgs-landsat-8-satellite-pinpoints-coldest-spots-on-earth/#.U4T7WSjSkZy)

Turner, J, et al: (2009): Record low surface air temperature at Vostok station, Antarctica. *Journal of Geophysical Research*, vol. 114, D24102, doi:10.1029/2009JD012104.

[www.ssec.wisc.edu/datacenter/LANDSAT-8/](http://www.ssec.wisc.edu/datacenter/LANDSAT-8/)

gælder fx. i weekenderne 22.-23. marts 2014 og 17.-18. marts 2011, hvor temperaturerne i begge tilfælde nåede under  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Under 2 km fra DMI's automatiske vejrstation ligger en amerikansk forskningsstation, US Summit, der er bemanded året rundt. På stationen foretages også temperaturmålinger, som er sammenlignelige med DMI-målestationens grundet den korte afstand. Men også på toppen af Grønlands Indlandsis kan der forekomme variationer i temperaturen inden for korte afstande pga. lokale effekter som fx en lille lavning i terrænet. Så stationerne kan ikke forventes at måle helt det samme, men de burde have samme tendens.

Den amerikanske målestation måler hvert minut, og stationen har målt siden august 2005. Ifølge en e-mail korrespondance med Tom Mefford, der har sat målestationen op, er kulderekorden for den amerikanske station på hele  $-67,2^{\circ}\text{C}$ , sat tilbage den 18. marts 2011 kl. 06:22 UTC – altså inden for den periode, hvor DMI's målestation var sat ud.

Hvis man med en meget kort datatidsserie på under 10 år kan måle ned omkring  $-67^{\circ}\text{C}$  omkring jævndøgn på toppen af Indlandsisen, hvor koldt kan det så ikke blive på den tid af året, hvor der ikke er sollys på noget tidspunkt af døgnet?

Næppe lige så koldt som i Antarktis, men ned omkring  $-70^{\circ}\text{C}$  tror jeg er realistisk.

#### Hvor koldt kan det blive på Jorden?

En overflade eller luftmasse afkøles så længe den afgiver mere energi i form af varme, end den modtager, altså så længe strålingsbalancen er negativ. Optimale betingelser for afkøling er, hvis luften får lov at isolere sig og ligge i mørke døgnet rundt. Her næst skal det være klart i vejret og vindstille, og luften skal være så tør som muligt. I Antarktis er luften mere afsondret, end den er i Grønland, og derfor kan det blive koldere her. I en artikel i tidsskriftet *Journal of Geophysical Research* har John Turner og kolleger undersøgt de nærmere omstændigheder for den gamle kulderekord ved Vostok. Det viste sig, at der over en 10 dages periode overhovedet ikke forekom udveksling af luft mellem den Østantarktiske Højslette og det relativt varmere hav, der omgiver Antarktis. På disse 10 dage faldt temperaturen lineært fra omkring det normale gennemsnit for juli til rekordværdien. Man fandt ud af, at der i denne periode var en næsten rekordkold kuldepol i den mellemste del af atmosfæren, centreret lige over Vostok. Samtidig var det klart vejr i en hel uge.

Det kunne være interessant, hvis man havde haft data fra Landsat 8 dengang. I artiklen skriver forfatterne, at de mener, at man teoretisk set kan komme ned på omkring  $-96^{\circ}\text{C}$  ved Vostok, og at det typisk vil være 5-6 grader koldere ved Dome Argus. Det åbner muligheden for, at lufttemperaturen i 2 meters højde kan nå ned på lidt under  $-100^{\circ}\text{C}$  på det koldeste sted på kloden, og sikkert 4-5 grader koldere på selve isoverfladen. ■



# SRP-øvelser på DTU

Har du elever,  
der skal lave  
studieretnings-  
projekt?

DTU byder 3.g-elever indenfor i laboratorier og værksteder, hvor de kan udføre eksperimenter koblet til deres SRP. Eleverne kan vælge mellem en lang række forsøg, der kan indgå i studieretningsprojekter med mange forskellige vinkler. Forløbene er tilrettelagt, så eleverne arbejder selvstændigt med forsøgene, samtidigt med at de får mulighed både for dialog med forskere og input fra andre gymnasieelever.

Øvelserne strækker sig over én eller to dage, og de ligger i oktober, november eller december. Tilmelding til øvelserne er åben fra den **23. september**.

Små stærke magneter anvendes i et utal af teknologiske produkter i dag. Desværre er fremstillingen af de bedste magnetiske materialer afhængig af sjældne jordarter, og derfor er der stor interesse for at udvikle nye magnetiske materialer lavet af billige grundstoffer.

Permanente magnetiske materialer har været afgørende for mange af menneskehedens største opdagelser. Kompasset tillod Christoffer Columbus at navigere over Atlanten og opdage den nye verden, og kompasnålen ledte Hans Christian Ørsted på sporet af elektromagnetismen. Elektromagnetisme og permanente magneter er de grundlæggende teknologier bag konvertering mellem kinetisk energi og elektricitet. Magneter findes overalt; lige fra højtalere, mikrofoner og vibratore i mobiltelefoner, til datalagring, elektromotorer i biler, magnetiske gear og dynamoer i gearløse vindmøller.

De stærkeste permanente magneter, som på nuværende tidspunkt er kommercielt tilgængelige, er de såkaldte neodym-magneter. Materialet, som består af neodym, jern og bor med den kemiske formel  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ , blev opdaget i 1982 og har siden været den foretrukne forbindelse til anvendelser, hvor både kompakthed og høj feltstyrke er nødvendig. Hovedparten af verdens produktion af neodym, der tilhører de såkaldte sjældne jordarter, foregår i Kina, som sidder på ca. 97 % af verdensmarkedet. Kina har således næsten monopol, og det har betydet voldsomme prisstigninger på neodym. Prisen truer nu med at kvæle verdens producenter af permanente magneter, og der er hårdt brug for alternative materialer.

Ved Center for Materiale Krystallografi, tilknyttet Institut for Kemi og Interdisciplinært Nanoscience Center på Aarhus Universitet, forsker vi derfor i permanente magneter uden sjældne jordarter.

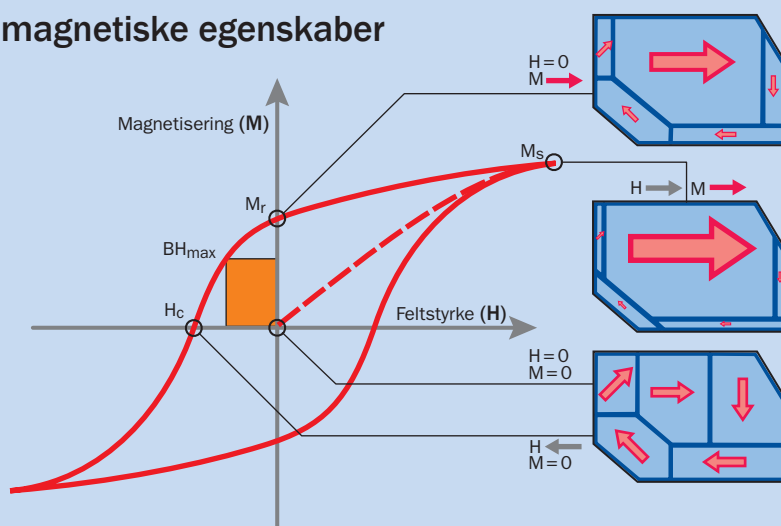
# Nanomagneter

## = størrelsen betyder noget!

Vi arbejder på at forstå, hvorfor lige netop  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  er et godt magnetisk materiale. Ud fra denne viden designer vi nye materialer, der består af billige og lettilgængelige grundstoffer. Specielt strontiumhexaferrit ( $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) viser stort potentiale, da det har nogle af de samme egenskaber som neodym-magneter.

Foto: Jesper Rais

## Måling af magnetiske egenskaber



Et permanent magnetisk materiale kan makroskopisk set karakteriseres ved en såkaldt hysteresekurve (rød), hvor man bestemmer materialets magnetisering som funktion af et pålagt magnetfelt. Det pålagte felt ( $H$ ) tvinger de atomare magnetiske momenter til at ensrette deres orientering, hvilket får de magnetiske domæner parallelt med magnetfeltet til at vokse og materialet bliver magnetisk med magnetisering ( $M$ ). Efterhånden som det påførte felt øges, stiger magnetiseringen, indtil det ikke er muligt at ensrette flere atomare momenter og materialet opnår sin mætningsmagnetisering ( $M_s$ ). Reduceres det påførte felt, afmagnetiseres materialet, men når det påførte felt bliver nul, er der en tilbageblivende magnetisering i materialet. Dette kaldes den magnetiske remanens ( $M_r$ ), og materialet er da en permanent magnet. Fuldstændig afmagnetisering kan opnås ved et modsatrettet felt med feltstyrken ( $H_c$ ). Størrelsen på dette felt beskriver materialets magnetiske stabilitet og kaldes koerciviteten. Koerciviteten bestemmes af, i hvor høj grad materialets krystalstruktur favoriserer den

givne magnetiseringsretning. Øges feltet fortsat fører det til magnetisk mætning i den modsatte retning, og vendes feltet igen, kan hysteresekurven lukkes.

Det maksimale energiprodukt ( $BH_{max}$ ) er et mål for en permanent magnets totale ydeevne, og det er defineret som arealet af det størst mulige rektangel, som kan placeres under hysteresekurven i koordinatsystemets 2. kvadrant.

På Institut for Kemi ved Aarhus Universitet bruger vi et såkaldt vibrations-magnetometer til at måle materialers magnetiske egenskaber. Her vibreres prøven i en opsamlingspole, mens den udsættes for et homogent eksternt magnetfelt. Ved at variere den pålagte magnetfeltstyrke og retning og samtidig måle det inducerede magnetfelt i prøven kan man bestemme materialets hysteresekurve. Ud fra hysteresekurven kan mætningsmagnetisering, remanens, koercivitet og det maksimale energiprodukt bestemmes.

Men før vi fortæller mere om dette materiale, skal vi først se nærmere på magnetisme som fænomen.

### Permanente magneter

Under en forelæsning den 21. april 1820 opdagede H. C. Ørsted, hvordan en kompasnål afveg fra den magnetiske nordpol, når kompasnålen blev placeret i nærheden af en strømførende ledning. Eksperimentet illustrerer den direkte relation mellem elektricitet og magnetisme, som er grundlæggende for elektromagnetismen. Udslaget af kompasnålen skyldes, at elektronernes bevægelse i ledningen skaber et magnetisk felt. Vikles ledningen til en spole, kan det frembragte magnetfelt forstærkes proportionalt med antallet af vindinger. Spolen er afhængig af en eksternt strømforsyning for at skabe et magnetfelt. Omvendt er det muligt at inducere en elektrisk strøm ved at bevæge en magnet gennem spolen.

Til sammenligning er et permanent magnetisk materiale ikke afhængigt af ydre faktorer for at

skabe et magnetfelt. Magnetismen er fundamentalt forankret i kvantemekanikken, og forudsætningen er tilstedeværelsen af uparrede elektroner. I stil med elektronernes bevægelse i ledningen i H. C. Ørsteds eksperiment giver elektronernes spin (rotation om egen akse) og bane rundt om atomkernerne også anledning til et magnetfelt på atomart niveau. De små magnetfelter eller magnetiske momenter illustreres ofte som en pil, der angiver retningen af det magnetiske moment fra syd til nord. De fleste materialer vil på grund af elektronparring have lige mange modsatrettede små magnetfelter, og på makroskopisk skala bliver det totale magnetfelt således nul. For permanente magnetiske materialer skaber ordning af uparrede elektroner imidlertid et overtal af små magnetfelter, som peger i samme retning, og materialet skaber således et overordnet ydre magnetfelt. Magnetfeltets styrke afhænger af antallet af uparrede elektroner i materialet, krystalernes størrelse og krystalstrukturen, dvs. atomernes placering i krystalgitteret.

## Magnetismes afhængighed af størrelse

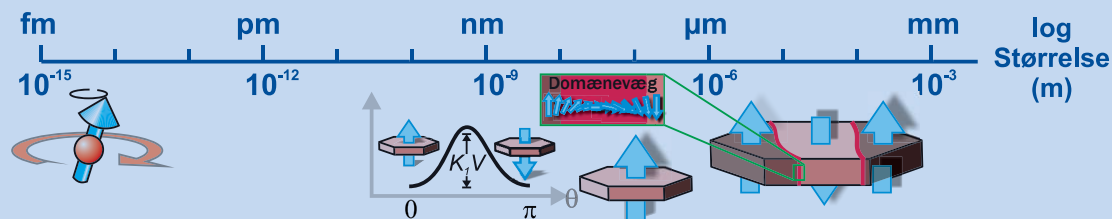


Illustration af magnetisme på forskellige længdeskalaer. Længst til venstre findes uparrede elektroner på fm (femtometer) længdeskala. For nanopartikler  $< 10\text{ nm}$  vil den termiske energi medføre, at det magnetiske moment uafbrudt ændrer retning og materialet er derfor superparamagnetisk. I intervallet  $10\text{--}200\text{ nm}$  består nanopartiklerne af ét magne-

tisk domæne. Det er den ideelle størrelse til brug i permanente magnetiske materialer. Bliver krystalkornene større, inddeles de i flere magnetiske domæner, som adskilles af domænevægge. De forskellige orienteringer af magnetiske momenter i domænerne betyder, at det magnetiske felt fra materialet udslukkes.

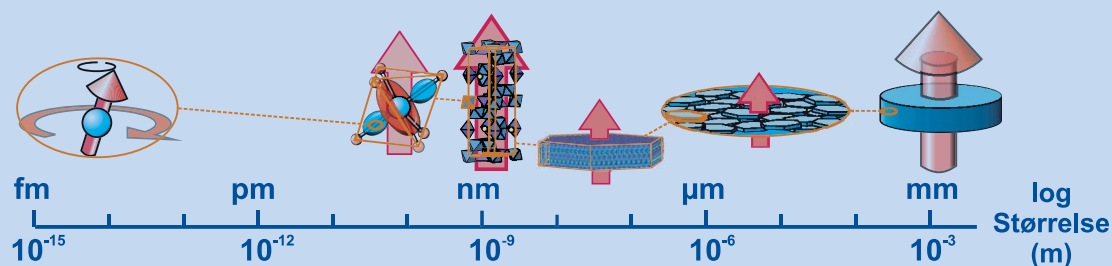


Illustration af "bottom-up" tilgangen til fremstilling af et permanent magnetisk materiale fra femtometer- til centimeter-skala. Startende fra venstre ses en uparret elektron, som giver anledning til et magnetisk moment. Dernæst ses et jern-atom koordineret til ilt-atomer, og denne struktur placeres i en nanometer-stor enhedscelle. Størrelse og

form af nanokrystallerne kontrolleres for at skabe en enkelt-domæne magnetisk krystal på  $10\text{--}200\text{ nm}$ . På mikrometerskala arrangeres enkelt-domæne-krystallerne med deres magnetiske akse pegende i den samme retning. Endeligt presses krystallerne til piller på millimeter-centimeter-skala.

### Forfatterne



Henrik Lyder Andersen er videnskabelig assistent lyder@chem.au.dk



Anna Zink Mortensen er studerende alifezink@gmail.com



Mogens Christensen er lektor mch@chem.au.dk Alle ved Institut for Kemi og iNANO, Aarhus Universitet.

### Magnetisme på nanoskala

Nogle magnetiske materialer har en foretrukket magnetiseringsretning, som bestemmes af krystalstrukturen. Den foretrukne magnetiseringsretning kaldes den lette magnetiseringsakse og skyldes, at krystalstrukturen ikke er ens i alle retninger. Ligesom atomerne ordner sig i et krystalgitter ved at minimere energien, ligeledes er der også en vekselvirkning mellem de magnetiske momenter, som giver en energigevinst, når de ordnes i forhold til hinanden.

For meget små magnetiske nanokrystaller ( $< 10\text{ nm}$ ) vil den termiske energi overstige energigevinsten ved at ordne elektronernes magnetiske momenter. De magnetiske momenter vil derfor uafbrudt ændre retning op og ned langs den lette magnetiseringsakse. For beskueren synes krystallerne derfor ikke at være magnetiske – man siger, at de er superparamagnetiske. Når størrelsen på krystallerne øges, vil de på et tidspunkt opnå en størrelse ( $> 10\text{ nm}$ ), hvor magnetiseringsretningen er stabil. For endnu større krystaller ( $> 200\text{ nm}$ ) vil de atomare vekselvirkninger, som får materialet til spontant at have en enkelt magnetiseringsretning, ikke længere

være i stand til at ensrette de atomare magnetiske momenter. Det skyldes den store mængde potentielle magnetiske energi, som opbygges i materialet. I stedet opstår der i materialet forskellige magnetiske retninger, og materialet siges at danne magnetiske domæner. Inden for et magnetisk domæne har atomerne samme magnetiseringsretning. Domænerne adskilles af såkaldte domænevægge, hvori atomernes magnetisering gradvist ændres til retningen i det tilstødende domæne. Den tilfældige orientering af de magnetiske domæner giver materialet en makroskopisk magnetisering på nul.

Et permanent magnetisk materiale kan makroskopisk set karakteriseres ved en kurve, der beskriver, hvordan materialets magnetisering varierer som funktion af et pålagt magnetfelt. En vigtig faktor er her *remanensen*, der beskriver i hvilken grad materialet kan blive permanent magnetiseret ved at pålægge et eksternt magnetfelt og fjerne det igen (hvilket man fx udnytter i harddiske). Den anden vigtige faktor er *koerciviteten*, der beskriver materialets magnetiske stabilitet, og som er bestemt af i hvor høj grad materialets krystalstruktur favoriserer den givne magnetiseringsretning.

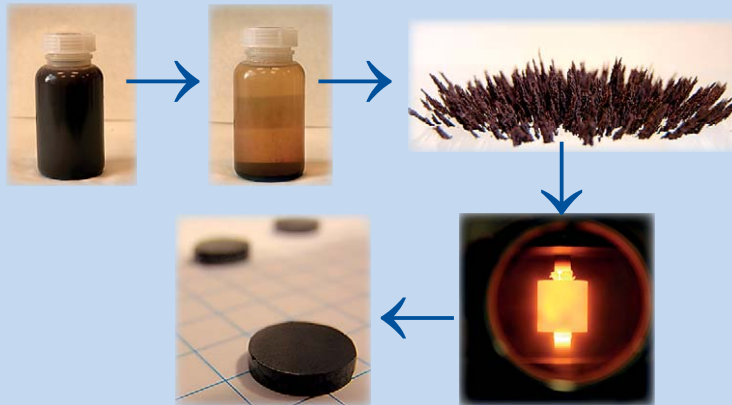
## Fremstilling af strontium-hexaferrit

Magnetiske nanokrystaller af strontium-hexaferrit ( $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) kan fremstilles ved hydrotermal syntese, som er en relativt simpel, billig og energieffektiv metode til fremstilling af funktionelle materialer. Ved hydrotermal syntese foregår den kemiske reaktion i en trykkoger ved temperaturer og tryk over 100 °C og 1 bar. Vands egenskaber som opløsningsmiddel varierer med temperatur og tryk, og drastiske ændringer opnås ved det såkaldte kritiske punkt, dvs. ved en tempe-

ratur på 374 °C og et tryk på 221 bar. Over det kritiske punkt er vandet i en fjerde tilstandsform – den superkritiske fase, som har tæthed som en væske, mens mobiliteten er sammenlignelig med gassers. De fremstillede krystallers størrelse og form kan styres ved justeringer af temperatur og tryk i reaktoren. Derudover har ændringer i reaktionsparametre som pH, reaktantkoncentration og reaktionstid også indflydelse på produktet.



Billedet viser et kontinuert flow-apparat, som anvendes til hydrotermal syntese af magnetiske nanokrystaller. Det opsamlede produkt vaskes gentagne gange med vand og ethanol og centrifugeres for at adskille nanokrystallerne fra væsken. Prøven tørres derefter for at opnå et magnetisk nanokrystalpulver, som til sidst presses til en pille.



Et højtydende permanent magnetisk materiale skal besidde både en høj magnetisering og en stor magnetisk stabilitet. Det gælder eksempelvis de magneter, som sidder i en mobiltelefons højttaler og motoren i vibratoren.

### Strontium-Hexaferrit – et lovende materiale

Neodym-magneter ( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ) er karakteriseret ved både at have høj remanens og høj koercivitet. Det skyldes henholdsvis de mange uparrede elektroner og en krystalstruktur, hvor atomernes indbyrdes placering er meget forskellig langs de tre rummelige akser. Et alternativ til neodym-magneter kan således forventes at have en krystalstruktur, som er forskellig langs de krystallografiske akser. Strontium-hexaferrit ( $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) er netop sådan et materiale. Strontium-hexaferrit og  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  ligner hinanden strukturelt ved at have én krystallografisk akse, som er væsentligt længere end de andre akser. I begge tilfælde medfører det en specifik let magnetiseringsakse langs den lange krystallografiske akse, hvilket giver materialerne en enestående koercivitet. Fordelen ved strontium er, at det er langt billigere end neodym.

Grundlæggende er strontium-hexaferrit opbygget af de samme atomare lag, som findes i det mest kendte magnetiske materiale, magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Begge krystalstrukturer består af den tættest mulige pakning af iltatomer. Dog adskiller strontium-hexaferrit sig fra magnetit ved at bryde symmetrien og udskifte enkelte iltatomer i hvert femte lag med strontiumatomer. Denne beskedne ændring er nok til at give strontium-hexaferrit en koercivitet, som er omkring 40 gange større end magnetit. Strontium-hexaferrit er dermed et glimrende udgangspunkt for udvikling af bedre permanente magnetiske materialer.

Yderligere forbedringer af de magnetiske egenskaber kan opnås ved at styre nano- og mikrostrukturen af materialet. Som forklaret tidligere vil et magnetisk materiale over en vis størrelse inddelle sig i magnetiske domæner, som reducerer den overordnede magnetisering, idet domænerne har forskellige magnetiseringsretninger. Er krystallerne tilstrækkeligt små, vil de bestå af et enkelt magnetisk domæne, men reduceres størrelsen for meget, vil krystallerne blive superparamagnetiske. Der findes således en gylden mellemstørrelse, hvor krystallerne består af et enkelt magnetisk domæne og samtidig fastholder det mag-

**Videre læsning**

Aktuel Natuvidenskab: Krystallografi - Kemiens genfundne værktøj, 5-2013 samt Nanopartikler på samlebånd, 2-2014.

netiske moment. For at opnå materialer med gode magnetiske egenskaber er det med andre ord afgørende at kunne styre nanokrystallernes størrelse og orientering, når den makroskopiske magnet skal opbygges.

**Magneter på pilleform**

Man kan opnå denne kontrol på nanoskala ved at danne strontium-hexaferrit som små flade hexagonale krystaller med den lette magnetiseringsakse vinkelret på den flade side. Når man pakker krystallerne på denne måde, er de mekanisk forhindret i at dreje sig efter eksterne magnetiske påvirkninger. Et pulver af magnetisk stabile enkeltmønekrystaller kan således presses sammen til en tæt pille for at skabe et færdigt materiale med en høj magnetisk ydeevne.

Ved Center for Materiale Krystallografi på Aarhus

Universitet, er det lykkedes os at fremstille strontium-hexaferrit med den ønskede krystalstruktur, hvor én krystallografisk akse er signifikant forskellig fra de andre akser. Udførlige undersøgelser af, hvordan forskellige reaktionsparametre har indflydelse på dannelsen af krystaller ved hydrothermal syntese, har gjort det muligt at fremstille nanokrystaller med specifik størrelse og form efter behov. Lige nu ligger udfordringen i at presse krystallerne til en pille af det endelige magnetiske materiale. Det skyldes, at det høje tryk og temperaturen under presningen kan få krystallerne til at vokse, ændre orientering eller i værste fald forårsage en faseændring. De indledende forsøg har dog vist, at det er muligt at presse piller af materialet med høj densitet og gode magnetiske egenskaber. I fremtiden er målet at karakterisere nanokrystalstørrelsens indflydelse på de magnetiske egenskaber for yderligere at optimere magneternes ydeevne.

**Karakterisering af størrelse og form**

Den atomare struktur af krystallinske materialer kan undersøges med pulver-røntgendiffraction. Røntgendiffraction er et interferensfænomen i krystallinske materialer, hvori de interatomare afstande er i samme størrelsesorden som røntgenstrålens bølglængde.

Når en monokromatisk røntgenstråle rammer atomerne i krystalgitteret, vil disse udsende røntgenstråling i alle retninger med samme bølglængde som den indkomne stråling. For langt de fleste retninger, vil strålingen fra de forskellige atomer være ude af fase, og der sker destruktiv interferens. For bestemte retninger er bølgerne imidlertid i fase og giver anledning til en øget intensitet ved en bestemt vinkel. For vinklerne med konstruktiv interferens er to betingelser opfyldt: 1) Strålen reflekteres i et givent sæt af kry-

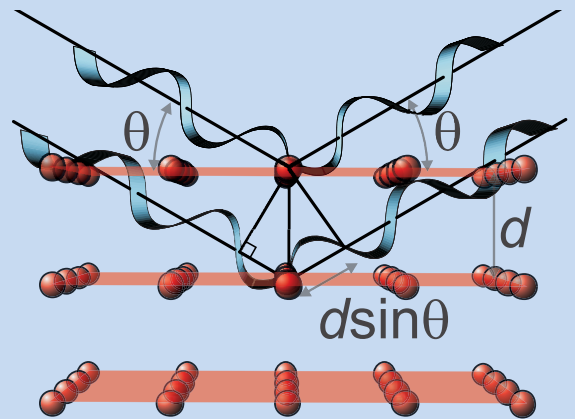
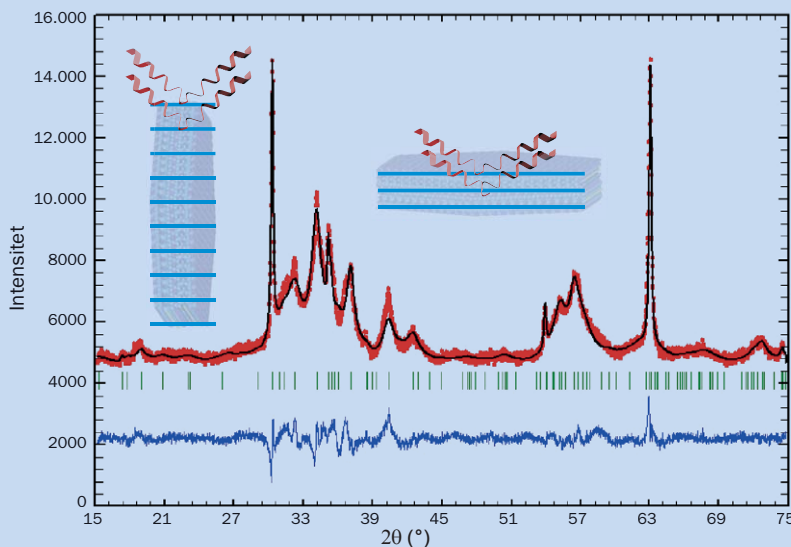


Illustration af kriteriet for konstruktiv interferens mellem røntgenstråler reflekteret i forskellige krystalplaner givet ved Bragg's lov.

stalplaner i materialet, dvs. ind- og udfaldsvinkel er den samme og 2) de reflekterede bølger fra krystalplansættene er i fase med hinanden. Fasebetingelsen er opfyldt, når bølger reflekteret i naboplaner har tilbagelagt en ekstra vej-længde svarende til et helt antal bølglængder.

Ved hjælp af simpel trigonometri kan sammenhængen mellem diffraktionsvinkel og afstand mellem naboplaner udledes. Relationen kaldes Bragg's lov og er givet ved,  $\lambda = 2d \sin(\theta)$ . Her er  $\lambda$  røntgenstrålens bølglængde,  $d$  er afstanden mellem to nabokrystalplaner og  $\theta$  er ind- og udfaldsvinklen. Fra diffraktionsretningerne kan de interplanare afstande i krystalen findes, og ud fra dem kan atomernes præcise positioner og krystalstrukturen bestemmes.

Den spredte intensitet som funktion af vinklen på en pulverprøve giver anledning til et pulverdiffraktogram. Ved omhyggelig computeranalyse af pulverdiffraktionsmønstre kan krystalstrukturen, størrelsen, indbyrdes orientering og meget mere bestemmes.

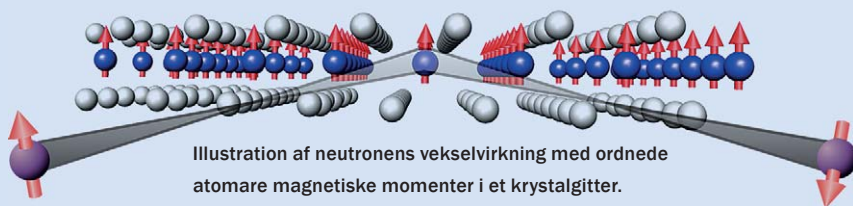


Pulver-røntgendiffraktionsmønster af  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ . Krystallernes form som illustreret bestemmes ud fra de forskellige bredder af diffraktionstoppe fra de forskellige krystallografiske retninger.

## Måling med neutroner

Neutronspreddning kan bruges til at bestemme den magnetiske struktur på atomart niveau. Neutroner kan ligesom røntgenstråling sprede fra atomerne i krystalgitteret, men udover at vekselvirke med atomkernen bærer neutronerne også et magnetisk moment, som kan vekselvirke med de magnetiske momenter i prøven. I princippet kan en neutron betragtes som en lille stangmagnet, som vekselvirker med de atomare magnetiske momenter i prøvematerialet. Denne egenskab gør neutroner til et uundværligt værktøj til undersøgelse af magnetiske materialer.

Desværre er det forholdsvis svært at producere neutronerne, som kræves for at kunne udføre magnetiske spredningsforsøg. Neutronspreddningsforsøg kræver adgang til enten en forskningsatomreaktor eller en såkaldt spallationskilde. Verdens kraftigste neutronsplattationskilde – The European Spallation Source (ESS) – er netop nu under konstruktion i Lund, Sverige, kun 60 km fra København. De første neutroner vil blive produceret i 2019, og faciliteten vil muliggøre helt nye neutronspreddningsforsøg, som ikke kan udføres i dag. ESS vil gøre det muligt at nå nye landvindinger inden for magnetiske materialer.



Presningen er et kritisk trin i fremstillingen af det magnetiske materiale og er endnu ikke fuldt forstået. Nyt udstyr vil tillade os at undersøge materialet ved hjælp af røntgendiffraction mens pillerne presses, og dermed kan vi undersøge presningens

effekt på nanokrystallernes størrelse og orientering. Vi forventer derfor, at vi indenfor en overskuelig tidshorizont vil blive i stand til at producere magneter med bedre egenskaber end de konventionelle kommercielle hexaferritmagneter. ■

# Inspirationsdag for gymnasielærere

## på Det Naturvidenskabelige Fakultet Syddansk Universitet den 30. oktober 2014

Torsdag den 30. oktober afholdes der Science-dag på Syddansk Universitet i Odense, og vi vil gerne invitere dig og dine kolleger med til arrangementet. Dagen henvender sig til gymnasielærere i biologi, biotek, fysik, kemi og matematik, og du kan møde vores forskere og få nye impulser og perspektiver på de naturvidenskabelige fag. Dagen vil både indeholde oplæg fra vores forskere og bud på forsøg, der kan bringes med hjem i undervisningen.

Læs mere og tilmeld dig på  
[www.sdu.dk/sciencedag](http://www.sdu.dk/sciencedag)

# Virtuelle beregninger skal give bedre knæ

Computerberegninger af belastningerne på et kunstigt knæ kan blive en hjælp til lægen med at finde det rigtige implantat første gang, så man undgår for mange ekstra operationer.

Slidigt, meniskskader og generelle knæproblemer. Mange mennesker oplever på et tidspunkt i livet knæsmerter. For nogle går smerterne i sig selv, men for andre er smerterne varige og kræver en operation. I EU har ca. 40 % af befolkningen over 60 år slidigt i hofte eller knæ, men også yngre får slidigt. Slidigt i knæet optræder oftere end i hoften. »Kunstige knæ har en begrænset levetid og ca. 15 % er fejlet efter 20 år. Herudover fungerer kunstige knæ ikke så godt som raske knæ og patienterne glemmer aldrig, hvilket knæ de har fået udskiftet«, fortæller lektor fra Aalborg Universitet, Michael Skipper Andersen.

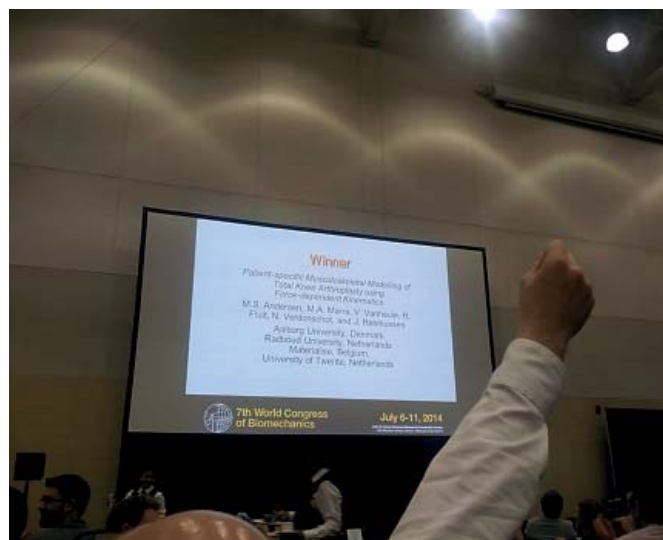
Han er koordinator og drivkraft i en international forskergruppe, hvis fokus er at udvikle bedre værktøjer til analyse af knæproblemer.

Den store udfordring består i at finde det rigtige implantat første gang. Lykkes det ikke, kan en ekstra operation blive nødvendig, og det er risikofyldt, da der for hver operation fjernes knogle, som er vigtig for, at knæet er funktionsdygtigt resten af livet.

»Hvis vi på forhånd kan beregne, hvordan implantaterne virker sammen med benet i måske 10 eller 20 år, kan lægerne meget bedre træffe det rigtige valg. Det vil øge sandsynligheden for et godt resultat første gang«, fortæller AAU-lectoren.

Denne type beregninger ligger en del år ud i fremtiden, men Michael Skipper Andersen og resten af forskergruppen tog det første skridt, da de i juli måned vandt konkurrencen *The Grand Challenge Competition to Predict In Vivo Knee Loads*, afholdt af University of Florida, hvor verdens førende knæksperters mødes.

Et hold amerikanske forskere har udviklet et knæ-



Vi vandt! Michael Skipper Andersen og hans kolleger tog sejren i *The Grand Challenge Competition to Predict In Vivo Knee Loads* annonceres i forbindelse med den 7. Verdenskongres for biomekanik i Boston.

implantat, som direkte kan måle de belastninger, som fladerne i knæet udsættes for, og indopereret dette i en række patienter. Konkurrencen går så ud på, at deltagerne skal beregne de samme belastninger i knæet, men uden at kende resultatet på forhånd. På den måde kan præcisionen af beregningerne direkte evalueres. Og her var AAU-lectoren og resten af forskerholdet altså bedst.

Der er et stort potentiale i forskergruppens resultater, da de samme grundprincipper gør sig gældende ved kunstige led andre steder i kroppen.

»Hvis de beregninger kan laves virtuelt inden en operation, kan man potentielt sikre de bedst mulige resultater hver gang«, afslutter Michael Skipper Andersen. ■

## Forfatteren



Rune Steiness er kommunikationsmedarbejder, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet [rs@adm.aau.dk](mailto:rs@adm.aau.dk)

## Forskeren



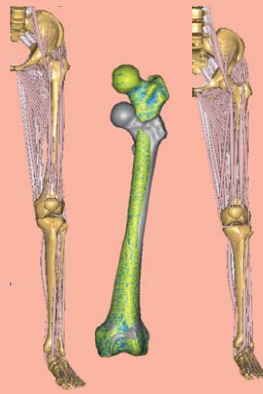
Michael Skipper Andersen, er lektor ved Institut for Mekanik og produktion, Aalborg Universitet [msa@m-tech.aau.dk](mailto:msa@m-tech.aau.dk)



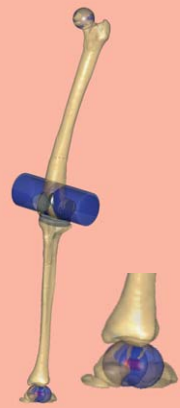
1. Segmentering



2. 3D-model af knogle



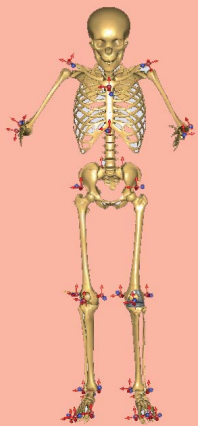
3. Tilpasning knogler i modellen



4. Ledakser mv. estimeres

Figuren viser forskergruppens fremgangsmåde til at beregne belastningerne på de to ledhoveder (kondyler) i knæet under gang. Ud fra CT-scanninger af patienten både før og efter operationen skabes 3D-modeller af knoglerne i benet (1 og 2).

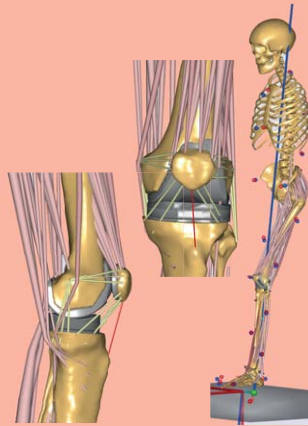
3) En virtuel model af et menneskeskelet med led og muskler tilpasses, så modellen får de samme knoglegeometrier som patientens knogler inden operationen. I 4) bliver patientens ledakser og centre estimeret vha. knoglegeometrierne. Efter operationen bliver der foretaget en bevægelsesanalyse af patienten, mens bevægelserne af små reflekterende markører påsat patienten bliver målt vha. af infrarøde kameraer.



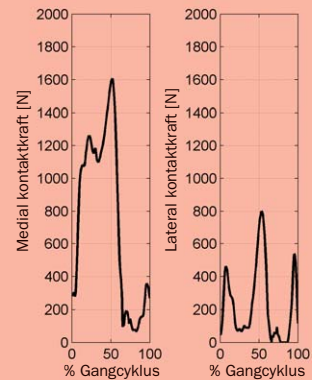
5. Beregning af øvrige knoglelængder



6. Beregning af knoglebevægelser under gang



7. Detaljeret knæmodel opsættes



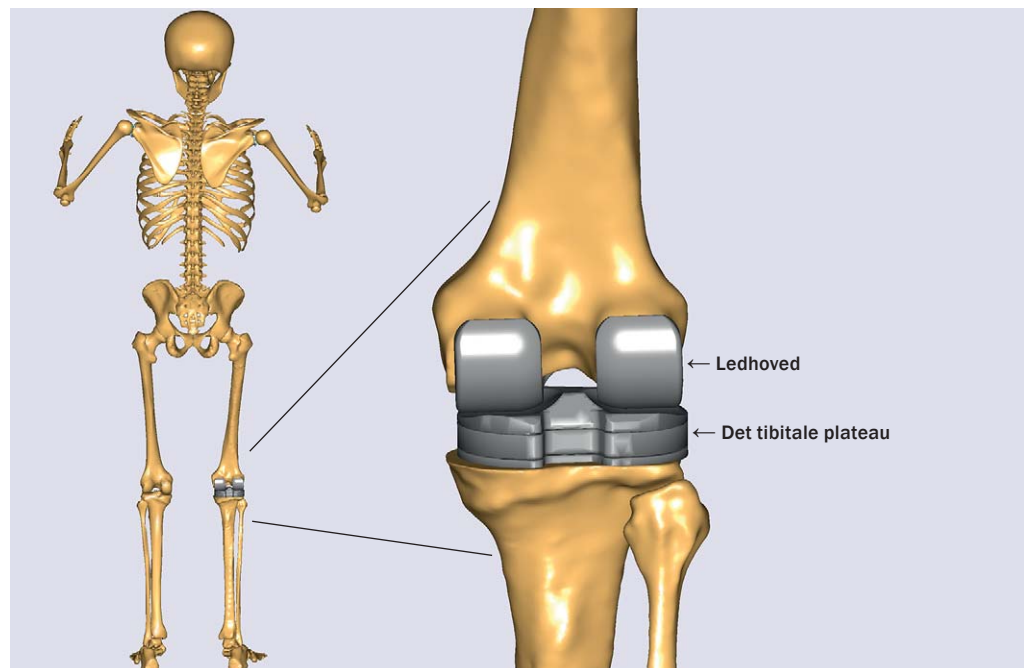
8. Resultater

Disse markørbevægelser bliver i 5) brugt til at estimere knoglelængderne af de knogler, som ikke er blevet CT-scannet, mens patienten står stille og i 6) til at beregne, hvordan knoglerne overordnet bevæger sig under gang.

Herefter bliver der i 7) opsat en detaljeret knæmodel med både knæimplantatet og ledbånd, som bliver benyttet til at beregne belastningerne på det kunstige knæ samt de detaljerede bevægelser imellem implantatdelene. Sidst men ikke mindst bliver de beregnede kontaktkræfter på de to ledhoveder udtrykket fra modellen og er vist i 8).

Forskerens model udregner alle belastninger i knæet - dvs. mellem alle flader, der er i kontakt med hinanden. Men i den omtalte konkurrence blev der kun regnet på kræfterne mellem ledhovederne og det såkaldt tibiale plateau, da disse kræfter udgør den største belastning på det kunstige knæ.

Illustration: Mikael Skipper Andersen og Aktuel Naturvidenskab



# Hvor blev alle de store dyr af?



Illustration: "ArctodusSimusReconstruct" by Dantheman9758 via Wikimedia Commons

Mennesket er årsagen til, at faunaen i Europa, Amerika og Asien er fattig på store pattedyr. En minutiøs gennemgang af den videnskabelige litteratur for information om de store pattedyrs udbredelse og uddøen viser entydigt, at deres forsvinden er nært koblet til det moderne menneskes spredning verden over.

## Forfatterne:



Søren Faurby er postdoc  
soren.faurby@biology.au.dk



Jens-Christian Svenning  
er professor  
svenning@biology.au.dk

Begge ved Institut for  
Bioscience,  
Aarhus Universitet

Når vi i dag vil se store dyr, har vi stort set kun valget imellem at tage en tur i zoologisk have eller tage til Afrika på safari. Men hvis vi levede for 130.000 år siden i den forrige mellemistid, kunne vi nøjes med at gå en tur i skoven. Safariturister snakker ofte om, at de skal se "the big five" i Afrika; løve, leopard, afrikansk elefant, sort næsehorn og afrikansk bøffel. Tilsvarende lister kunne i Nord-europa have bestået af deres nære slægtninge huleløve, leopard, europæisk skovelefant, skovnæsehorn og urokse, som alle klimatisk set ville have kunnet forekomme i Danmark i dag. Havde man i stedet taget til Australien, kunne man blandt andet se tonstunge slægtninge til vombatter, landlevende krokodiller og seks meter lange varaner, eller var man taget til Sydamerika, kunne man se elefant-slægtninge med skruede stødtænder sammen med tonstunge bæltedyr og dovendyr samt mærkværdige store hovdyr uden nære nulevende slægtninge. Til sammenligning var faunaen i Afrika dengang stort set identisk med den nuværende, omend suppleret med bl.a. en ekstra elefant og kæmpestor, langhornet bøffel.

## De vigtigste hypoteser

At arter uddør, er helt naturligt over geologisk tid, og i løbet af 130.000 år forventer man, at et par arter vil forsvinde. Den masseuddøen, der er sket i de sidste 130.000 år, er imidlertid mærkelig. Ikke kun på grund af mængden af uddøde dyr, hvor hele 30 % af alle pattedyrarter over 10 kg forsvandt inden for en relativt kort periode, men også fordi den langt overvejende ramte store dyr. Europa, som nok har den bedst forståede fauna, mistede for eksempel 19 pattedyr over 10 kg sammen med en enkelt mus som det eneste mindre pattedyr. Den ekstreme uddøen har været debatteret længe, og mange forskellige teorier har været fremsat. Ser man bort fra religiøse ideer såsom den bibelske syndflod, har der været fremsat en række mere eller mindre kuriøse videnskabelige ideer som fx en mystisk sygdom, der skulle være i stand til at inficere store pungdyr i Australien og elefanter i nordlige Eurasien og Amerika, men åbenbart ikke i Afrika og aldrig mindre pattedyr; vulkanudbrud, der skulle påvirke Australien, Europa og Amerika, men ikke Afrika

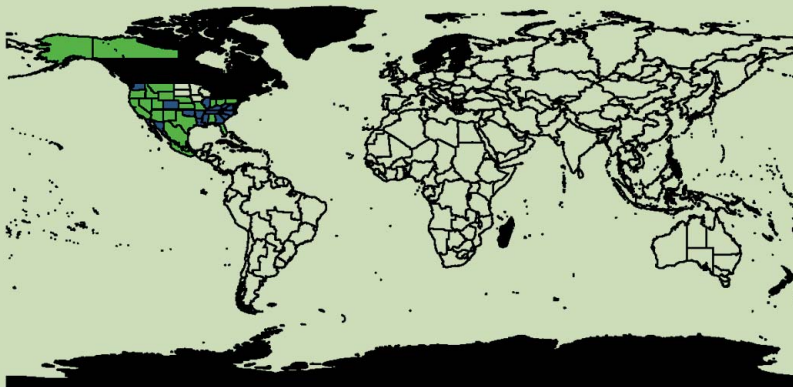
## Kortlægning af uddøde dyr

Vores arbejde startede med at samle den nyeste viden om, hvilke større kontinentale arter af pattedyr, der har sikkert daterede forekomster, der er mindre end 130.000 år gamle (hvilket vil sige den seneste istid og den seneste og nuværende mellem-istid).

Vi støvsugede litteraturen efter fossilfund og noterede forekomsten af de forskellige arter i alle lande på et kort. Der var en række huller i udbredelsen, som må skyldes manglende fossilfund, og vi tilføjede derfor også alle de stater/lande, der lå imellem stater med fossile fund. Endelig beregnede vi for alle lande andelen af tabte arter. Vi udelukkede isolerede øer og lande, der helt eller næsten har været dækket af iskapper under seneste istid (disse lande er markeret med sort på kortet). Øer blev udelukket, fordi der stort set ingen tvivl hersker om, at de massive faunakollapser, der er sket der, er forårsaget af mennesker. Isdækkede områder blev udelukket, fordi iskapperne har ødelagt de relevante aflejringer fra perioden, hvorved faunaerne også er dårligt kendte.

Kortet viser udbredelsen af den nordamerikanske bjørn *Arctodus simus*, som er en af de 177 arter, som uddøde enten globalt eller kontinentalt i perioden. *Arctodus* var en kæmpe

nordamerikansk bjørn. Den var op til 3,5 meter høj når den stod på bagbenene vejede cirka 800 kg og var i modsætning til alle nulevende bjørne bortset fra isbjørnen stort set udelukkende kødæder. Dens nærmeste nulevende slægtning er den lille og i øvrigt næsten vegetariske brillebjørn, der lever i Andesbjergene. Grøn farve markerer, at arten er fundet i de pågældende stater, mens blå farver markerer "huller", hvor der mangler fossilfund, men hvor arten må have været til stede pga. af den overordnede udbredelse.



eller Sydøstasien; eller meteornedslag, trods det at uddøen foregår på meget forskellig tid rundt om i verden. I praksis er der kun to realistiske forklaringer: Klimaændringer eller det moderne menneske, *Homo sapiens*.

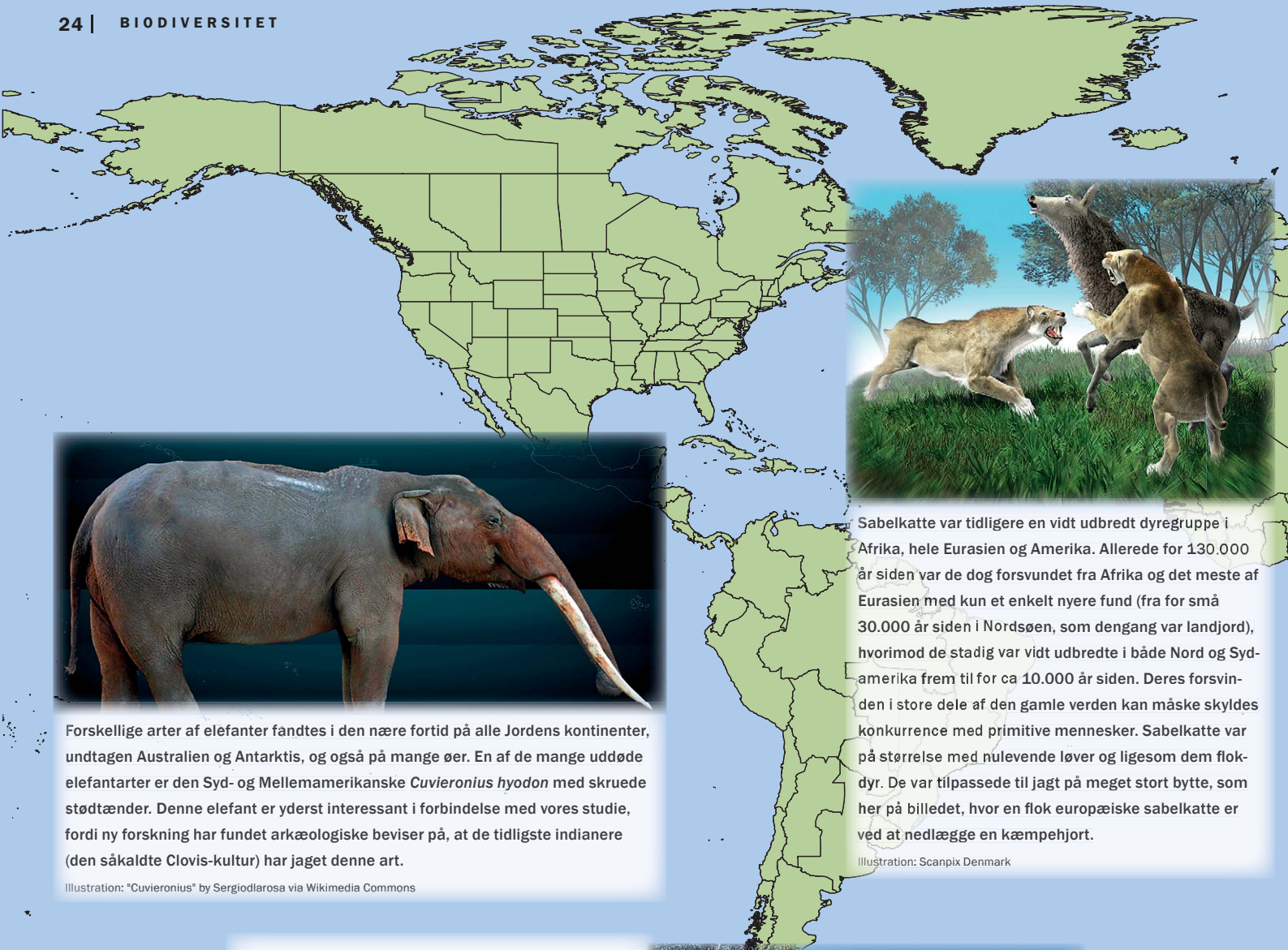
### Klimaændringer som forklaring

De seneste 130.000 år har været kendetegnet ved store klimatiske ændringer, fra den forrige mellemistid over sidste istids kulde til den nuværende mellemistid. Disse dramatiske klimaændringer udgør en væsentlig forklaringsmodel for masseuddøen blandt de store dyr. Klimaet betyder rigtig meget for mange arters udbredelse. De store dyr kunne være kommet under særligt pres på grund af klima-drevne ændringer i deres habitater og fødegrundlag. Der er dog en række problemer med klimaændringer som forklaringsmodel. For det første er klimaændringerne de seneste 130.000 år ikke unikke. Igennem de seneste par millioner år har klimaet vekslet mellem istider og mellemistider med i alt over 10 istider. Men det er kun under den seneste periode, at der sker et stort, selektivt tab af store dyr. Klimaændringer burde heller ikke specielt berøre store dyr, da de typisk er meget generaliserede i deres økologiske krav. Man ser da også under tidligere klimaændringer, fx i forbindelse med de første pleistocæne istider, at den uddøen, der sker, i samme eller større grad berører planter og smådyr.

Der er desuden en fascinerende stor variation i, hvilke parametre der har været foreslået som afgørende i denne masseuddøen. En ukomplet liste af årsager til, at forskellige arter er uddøde, inkluderer kulde, varme, tørke, og øget nedbør. Problemet med sådanne analyser er imidlertid, at når klimaet stort set hele tiden varierer, er det meget svært at undgå et sammenfald imellem uddøen og en klimaændring. Signifikansen af sådanne tilsyneladende sammenhænge kan derfor være svær at vurdere. Desuden er det vigtigt at holde sig for øje, at stort set alle arter ændrer udbredelse, når klimaet skifter. Der fandtes således rensdyr, moskusokse og polarræv i Syd- og Mellemeuropa under seneste istid – og de forsvandt fra regionen, da klimaet begyndte at blive varmere. Derfor behøver en relation mellem en arts bestandsudvikling og klimaet ikke at fortælle noget om, hvorfor arten endte med helt at uddø. Klimahypotesen giver dog en meget klar overordnet geografisk forudsigelse: Uddøen bør have været stærkere i områder med større klimatiske ændringer. Dvs. hvis klima har størstedelen af skylden for tabet af store dyr, så bør der være en klar sammenhæng imellem tabet af arter og graden af klimaændringer.

### Overkill-hypotesen

Den anden potentielle årsag til udryddelserne er det moderne menneske, *Homo sapiens*. Det er vel-dokumenteret, at vi har været gode til at udrydde især større dyr i historisk tid – så hvorfor ikke også



Forskellige arter af elefanter fandtes i den nære fortid på alle Jordens kontinenter, undtagen Australien og Antarktis, og også på mange øer. En af de mange uddøde elefantarter er den Syd- og Mellemamerikanske *Cuvieronius hyodon* med skruede stødtænder. Denne elefant er yderst interessant i forbindelse med vores studie, fordi ny forskning har fundet arkæologiske beviser på, at de tidligste indianere (den såkaldte Clovis-kultur) har jaget denne art.

Illustration: "Cuvieronius" by Sergiodiarosa via Wikimedia Commons

Sabelkatte var tidligere en vidt udbredt dyregruppe i Afrika, hele Eurasien og Amerika. Allerede for 130.000 år siden var de dog forsvundet fra Afrika og det meste af Eurasien med kun et enkelt nyere fund (fra for små 30.000 år siden i Nordsøen, som dengang var landjord), hvorimod de stadig var vidt udbredte i både Nord og Sydamerika frem til for ca. 10.000 år siden. Deres forsvinden i store dele af den gamle verden kan måske skyldes konkurrence med primitive mennesker. Sabelkatte var på størrelse med nulevende løver og ligesom dem flokdyr. De var tilpassede til jagt på meget stort bytte, som her på billedet, hvor en flok europæiske sabelkatte er ved at nedlægge en kæmpehjort.

Illustration: Scanpix Denmark

Sydamerika var en isoleret ø fra omkring 40 millioner år siden, hvor kontinentet løsrev sig fra Antarktis og Australien til omkring 3 millioner år siden, hvor det stødte sammen med Nordamerika. I løbet af denne lange periode udviklede der sig en række mærkværdige dyregrupper, hvoraf flere også koloniserede Nordamerika efter kontinenternes sammenstød. En af disse var de tonstunge kæmpedovendyr (op til 6,3 tons), som i modsætning til deres sløve nulevende slægtninge ikke klatrede i træer, men vandrede rundt på jorden med forskellige arter udbredt fra Argentina til Alaska.

Illustration: Scanpix Denmark



i forhistorisk? Hypotesen kaldes *overkill*-hypotesen. Der er mange fundsteder, der viser, at forhistoriske mennesker var dygtige til at jage store dyr helt op i elefantstørrelse. Fx var den første vidt udbredte kultur i Nordamerika en storvildtsjæger-kultur, der havde forkærlighed for jagt på bl.a. mammutter og mastodonter, og denne kultur forsvandt i øvrigt ca. samtidigt med de store dyr i Amerika. Hypotesen er her, at effekten af mennesker er afhængig af faunaens tidligere kontakt med mennesker. Vores slægt opstod i Afrika syd for Sahara, og faunaen i Afrika har derfor haft lang tid til at tilpasse sig jagt imens

vores forfædre langsomt blev dygtigere jægere. Det kan forklare den lille uddøen, der generelt ses her.

Faunaen i Australien og Amerika havde derimod aldrig mødt tidligere *Homo*-arter, før det moderne menneske nåede frem og var derfor forventeligt sårbar overfor denne avancerede jæger – hvilket kan forklare den massive uddøen, som er kendt for disse områder. Eurasien ligger midt imellem disse to ekstremer, og dyrene har i det mindste haft kontakt med primitive menneskearter, inden det moderne menneske spredte sig ud af Afrika. Udryddelsen



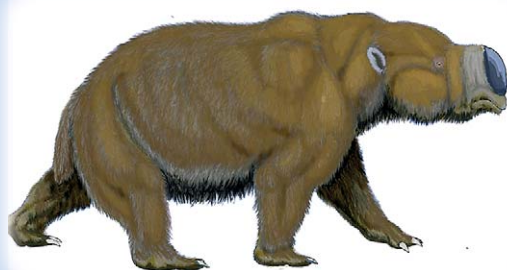
Udover de velkendte uldhårede næsehorn forsvandt også tre andre mindre kuldetilpassede arter af næsehorn fra Eurasien. Et af dem var dette kæmpestore næsehorn, der på trods af navnet *Elasmotherium sibiricum* var tilknyttet steppelandskaber fremfor de nordligste egne. Denne kæmpe med en estimeret vægt på 4 ton (samme vægt som en moderne afrikansk elefant) beskrives også af Johannes V. Jensen i Bræen, hvor han kalder den "Enhjørningen". Der er da også nogle forskere, der har foreslået, at dette næsehorn med sit vældige horn kan have inspireret til nogle af de enhjørningeleger, der findes blandt forskellige folkeslag i Eurasien.

Illustration: Scanpix Denmark



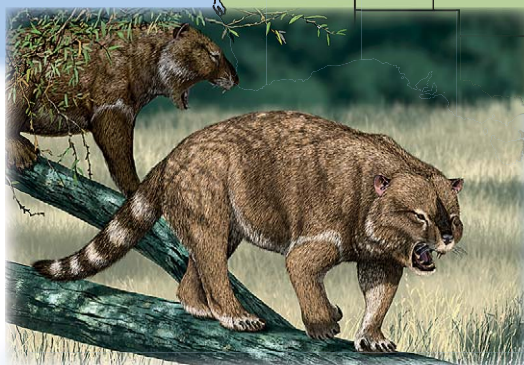
Ikke alle uddøener var globale, nogle var kun kontinentale. Przewalski-hesten, der lever på stepperne i Centralasien, er den sidste overlevende, oprindeligt vilde hest. Hestens udbredelse har oprindeligt været langt større. Fossile heste af samme art som den nulevende er kendt fra næste alle landområder imellem Argentina og Marokko. Hesten er således det eneste pattedyr, hvis naturlige udbredelse dækker fire kontinenter og muligvis det pattedyr med den største naturlige udbredelse.

Foto: "Takhi Hustai" by Chhneeb via Wikimedia Commons



Australien er i dag kendt for sine meget mærkelige pattedyr, der skyldes en langvarig isolation af kontinentet. De nulevende arter er små eller mellemstore, men sådan har det ikke altid været. Da de første mennesker ankom til Australien for cirka 50.000 år siden kunne de fx opleve den fascinerende planteædende *Diprotodon optatum*, som med en vægt på over 2 ton og en længde nær 4 meter fra hoved til hale, var det største pungdyr, der nogensinde har levet. En anden imponerende skabning var pungløven, som er det største kendte pungrovdyr med en vægt på lidt over 100 kilo. En overraskende detalje er, at disse to uddøde kæmper var ret nært beslægtede, og at den nærmeste nulevende slægtning til begge er de relativt små vombatter.

Illustration: Dmitry Bogdanov via Wikimedia Commons og Illustration pungløver: Scanpix Denmark



her er tilsvarende midt imellem den i Afrika og i Australien/Amerika.

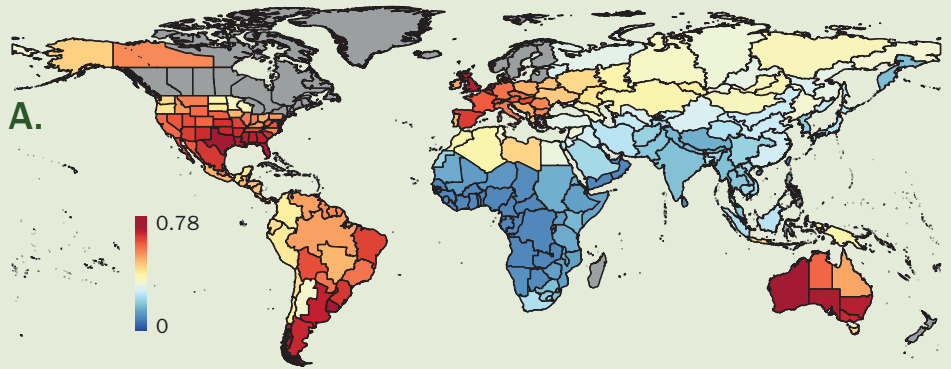
Der er mange eksempler på, at arter på øer, der ikke har haft kontakt med rovdyr før, mangler frygt. Det bedste eksempel er måske Darwins ræv, der levede på en lille isoleret ø udfor Sydamerika, og hvor Darwin slog typeeksemplaret ihjel ved at gå hen til det og slå det i hovedet med en geologihammer. Tilsvarende naivitet fandt man dog næppe hos faunaen i Amerika, hvor dyrene var vant til jagt fra mange effektive rovdyr som fx løver, sabelkatte og ulve. Men ingen

af disse arter havde den samme intelligens og samarbejdsevne som os, og ingen kunne angribe på afstand ligesom en jæger, der kaster et spyd.

Fortalerne for en menneskelig årsag til tabet af megafauna har ofte argumenteret med tidligt sammenfald. Mennesket kom til Amerika for 10-15.000 år siden og til Australien for cirka 50.000 år siden. Megafaunaen forsvandt fra Amerika for lidt over 10.000 år siden og fra Australien for cirka 40.-50.000 år siden (lidt senere på Tasmanien, hvor også mennesket nåede senere frem til). Dateringerne har imidler-

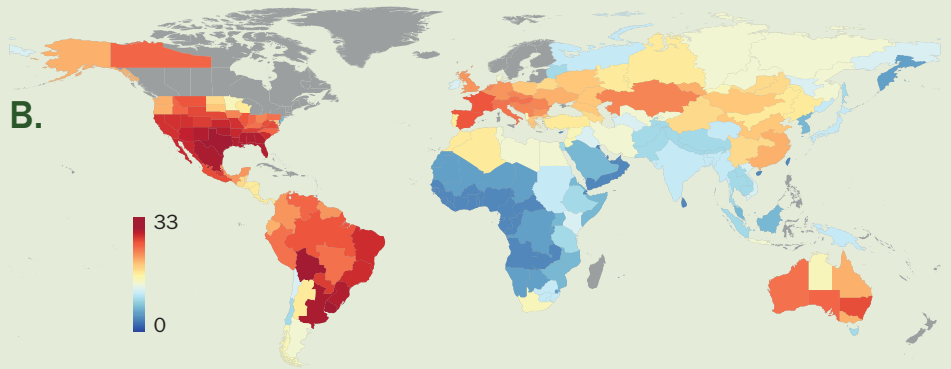
**A) Frekvens af store uddøde arter**

Figur A viser den procentdel af alle de store pattedyrarter på 10 kg eller mere, der er kendt fra et givent land inden for de seneste 130.000 år (inklusive dem, der stadigvæk findes der), der er uddøde på det pågældende kontinent eller globalt. På denne og alle andre delfigurer er lande, vi ikke har inkluderet i analysen, markeret med gråt.



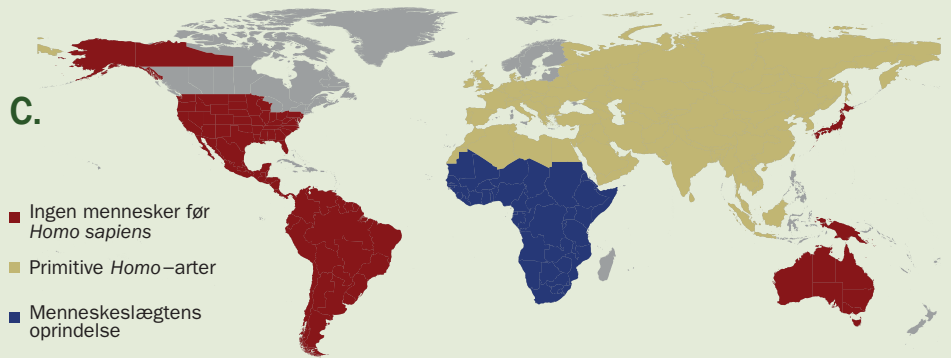
**B) Antal store uddøde pattedyrarter**

Figuren viser det absolutte antal arter, der kendes fra hvert land, der er uddøde.



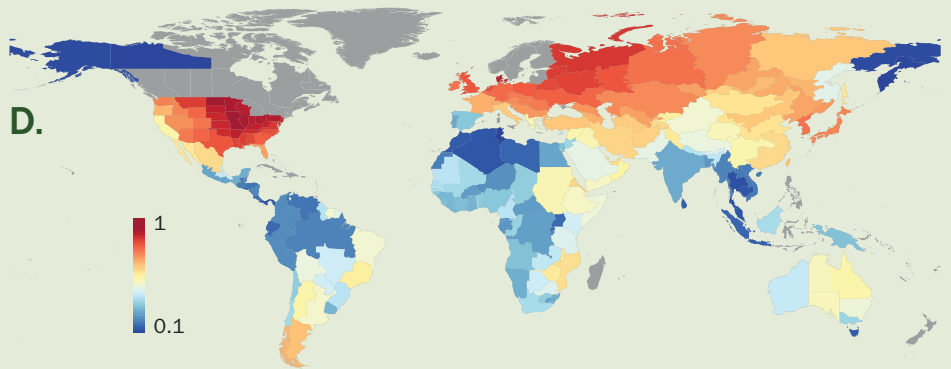
**C) Historisk menneskekontakt**

Figuren viser menneskets indvandringshistorie, hvor den forventelige sammenhæng til uddøen er mindst uddøen i områder hvor såvel menneskeslægten som det moderne menneske (*Homo sapiens*) gradvist har udviklet sig (markeret med blå) og størst uddøen, hvor faunaen ikke havde nogen tidligere kontakt med primitive menneskearter før mødet med det moderne menneske (markeret med rødt). De gule områder er en mellemzone udenfor menneskets udviklingscentrum, som har været koloniseret af primitive menneskearter.

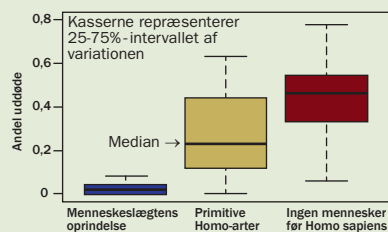


**D og E) Forskel i temperatur og nedbør**

Figurene D og E viser ændringen i klima mellem Sidste Istids maximum og nu i hvert land for hhv. temperatur og nedbør. Røde farver betyder, at klimaet var meget anderledes under istiden end i dag, hvorimod lande med små klimatiske forskelle har blålige farver.

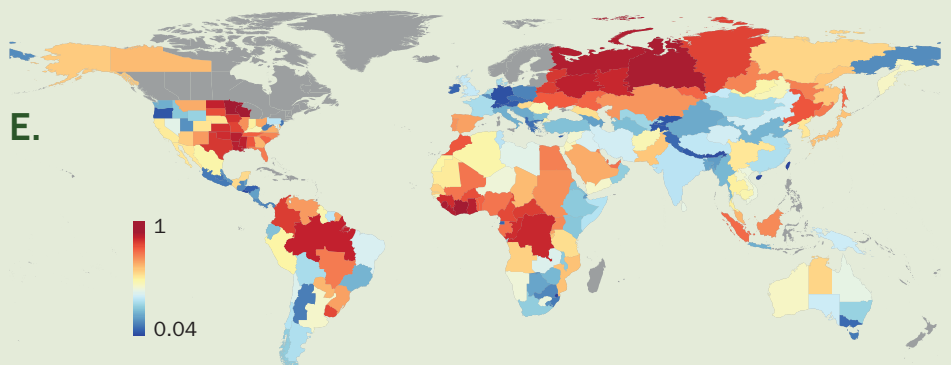


Ved at sammenligne de forskellige figurer er det tydeligt, at uddøen er meget større i områderne markeret med rødt i figur C og mindre i områderne markeret med blå.



Diagrammet viser andelen af store pattedyr pr. land, der er uddøde for de tre forskellige typer historisk menneskekontakt.

En umiddelbar sammenligning imellem figur D eller E med A viser derimod ikke noget klart billede, men en statistisk analyse fandt, at der var en svag tendens til større uddøen i områder med større klimatiske variation og kun i Eurasien.



tid været svære at udføre, og der har i mange områder været debat om, hvorvidt de store dyr forsvandt lidt før eller lidt efter *Homo sapiens'* ankomst.

### Mistanken samler sig om *Homo sapiens*

Både klima- og *overkill*-hypotesen giver klare forudsigelser om den geografiske variation i de store dyrs uddøen, men forudsigelserne er indtil nu kun blevet testet på grove og ukomplette data. Derfor støvsugede vi den videnskabelige litteratur for at lave en oversigt over, hvilke store dyrearter der er uddøde for mellem 130.000 år siden og 1.000 år siden (vi ignorerede nyere tilfælde af uddøen, da det er klart, at de alle skyldes jagt og habitatødelæggelse). Dernæst lavede vi en kortlægning af arternes samlede udbredelse over hele perioden på landebasis med store lande som fx USA, Australien og Brasilien opdelt i stater/regioner. Derved fik vi lavet den hidtil mest komplette kortlægning af den uddøde megafauna. På den baggrund kunne vi teste for en sammenhæng imellem tabet af megafauna og periodens klimaudsving – som forudsagt af klimahypotesen – og mellem tabet af megafauna og menneskets udbredelsehistorie (dvs. størst uddøen, hvor *Homo sapiens* var det første menneske i området, mindst uddøen, hvor menneskets udvikling har forløbet over længst tid).

Vores resultater var klokkeklare og viste en stærk sammenhæng mellem menneskets udbredelsehistorie og uddøen af de store dyr, helt i overensstemmelse med *overkill*-hypotesen. Derimod kunne vi kun finde en svag relation til klimasvingninger. Der kan derfor ikke være nogen rimelig tvivl om, at det moderne menneske har spillet en stor rolle i de globale tab af store dyr. Det er derimod tvivlsomt, om der også var en klimatisk effekt. Vores data indikerer højest en svag effekt, og denne mulige sammenhæng ses kun i Eurasien. Reelle klimatiske effekter burde være ligeså kraftige i områderne uden tidligere menneskekontakt (Amerika og Australien). Blandt andet er det bemærkelsesværdigt, at vores kortlægning påviser meget store tab af arter i regioner, der var relativt klimatisk stabile og fungerede som effektive refugier for masser af mindre dyr og planter som fx Californien.

### Flere mekanismer på spil

Selvom vores resultater stærkt peger på *Homo sapiens* som den primære årsag til tabet af store dyr, viser vores analyser ikke, hvordan det eksakt skete, og det er langt fra sikkert, at årsagen er den samme for alle arter. Nogle arter blev forventeligt udryddet direkte af jagt, hvilket fx sandsynligvis er tilfældet for de over 10 arter af elefanter og nære slægtninge, der er forsvundet fra Amerika og Eurasien, da det tydeligvis var skattede byttedyr – og samtidig er det arter med meget lav frugtbarhed og stor følsomhed overfor jagt.

Rovdyr som fx sabelkatte, der er globalt uddøde, eller den plettede hyæne og leoparden, der uddøde

kontinentalt i Europa, forsvandt til gengæld nærmere, fordi deres fødegrundlag forsvandt. Atter andre arter forsvandt måske på grund af ændringer i deres levesteder, fx på grund af tabet af elefanter og andre meget store dyr – som formentlig har haft stor betydning for økosystemerne bl.a. via deres effekt på vegetationen – eller på grund af miljøændringer på grund af menneskers brug af ild til jagt.

### Store dyr og naturforvaltning

Den direkte videnskabelige konsekvens af vores studie er et svar på en slags videnskabelig krimi, hvor vi nu entydigt kan sige, at det moderne menneske var langt den vigtigste årsag til det massive tab af megafaunaen. Dermed peger studiet også på, at vi i dag kunne have haft faunaer som de afrikanske med store dyr som elefanter, næsehorn og løver udbredt overalt i verden, hvis det ikke var for menneskets jagt og habitatændringer. I dag pågår tabet af store dyr desværre stadig i store dele af verden, bl.a. med den nuværende bølge af krybskytteri mod elefanter og næsehorn.

Vores resultater har også stor relevans for, hvordan man tænker naturforvaltning. Når vi nu ved, at det er mennesket, der har udryddet de store dyr fra vor natur, hvorfor skulle vi så ikke forsøge at genindføre dem, hvor det er muligt? Det har vi da også gjort i et vist omfang i Danmark ved at genudsætte bæver og europæisk bison (sidstnævnte dog stadig i indhegninger), selvom begge arter har været væk fra landet i tusind år eller mere. Da vores resultater peger på, at bl.a. hyæner, leoparder, løver og elefanter (de sidste to dog kun nære slægtninge til de nulevende arter) også er naturligt hjemmehørende i det nordlige Europa og kun mangler pga. fortidens efterstræbelser, hvorfor ikke også overveje at genudsætte disse arter, hvor det er muligt? Det er i særdeleshed en væsentlig overvejelse, da mere og mere peger på, at de store dyr kan spille meget vigtige roller i økosystemerne og fremme en høj artsrigdom ved deres græsning, roderi og prædation.

De samme overvejelser er også relevante på globalt plan. Et eksempel er forvaltningen af vilde heste i Den Nye Verden. Vildheste plejede at leve i et mere eller mindre sammenhængende bælte fra Argentina over Alaska og Sibirien til Marokko. I nyere tid har de dog manglet i ca. 10.000 år i Amerika – fra de uddøde der sammen med mange andre store dyr ved afslutningen af seneste Istid og til en ny bestand etablerede sig ud fra tamheste, der er stukket af fra europæiske indvandrere i løbet af de seneste 500 år. I dag forvaltes de vilde heste i Amerika ofte som en invasiv, fremmed art, der pr. definition er et naturmæssigt problem. Historien taget i betragtning må vi i stedet se det som en reintroduktion af en udryddet, hjemmehørende art. Derfor bør man også forvalte – og fremme – disse vilde hestebestande som en naturlig del af faunaen i stedet for at holde dem nede. ■

**Videre læsning:**  
Global late Quaternary megafauna extinctions linked to humans, not climate change doi: 10.1098/rspb.2013.3254.

Species-specific responses of Late Quaternary megafauna to climate and humans doi:10.1038/nature10574.

Assessing the Causes of Late Pleistocene Extinctions on the Continents doi:10.1126/science.1101476.

Martin P. S (1973) The discovery of America. *Science* 179: 969–974.

High herbivore density associated with vegetation diversity in interglacial ecosystems doi:10.1073/pnas.1311014111.

# Nyt verdenskort afslører trusler mod naturen



↑ Beskyttede naturområder – som her Majaestic national park Torres del Paine i Chile – udgør et samlet et areal i verden svarende til Sydamerika og halvdelen af Australien lagt sammen. En status af beskyttet område er dog ingen garanti for, at mennesket ikke alligevel “æder” sig ind på naturen her.

Foto: Colourbox

Forfatteren



Jonas Geldmann er postdoc ved Center for Makroøkologi, Evolution, og Klima Statens Naturhistoriske Museum Københavns Universitet [jgeldmann@snm.ku.dk](mailto:jgeldmann@snm.ku.dk)

Der er gennem tiden gjort en del forsøg på at kortlægge menneskets påvirkning af naturen på global skala. Sådanne oversigter indeholder dog sjældent information om, hvorvidt presset på naturen stiger eller falder i forskellige landområder. Det råder et helt nyt verdenskort bud på.

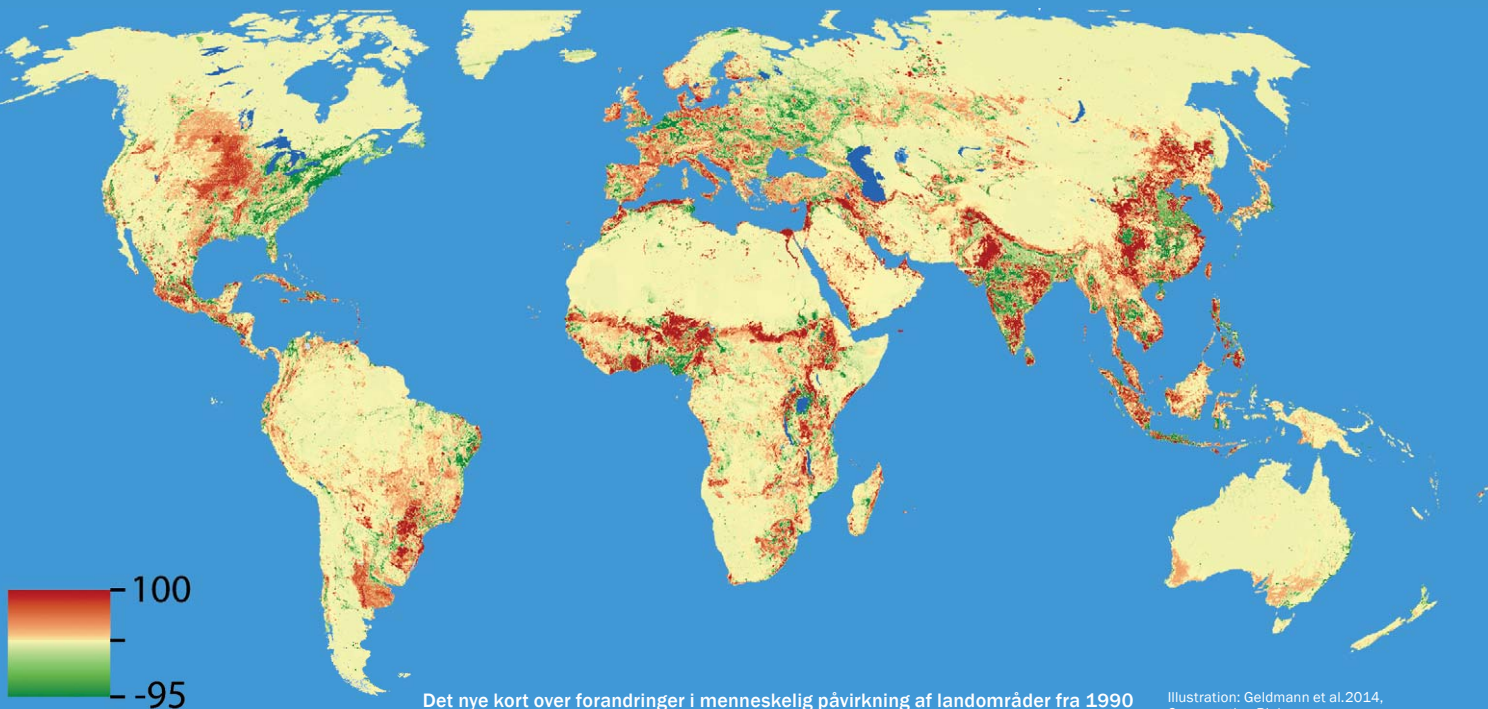
Vi mennesker har gennem årtusinder tilpasset vores omgivelser til bedst at tjene vores formål: Vi optager plads på jordens overflade til byer og boliger, vi producerer lys og varme, marker med fødevarer og veje til transport og vi henter råstoffer fra naturen til alverdens produkter. I nyere tid, er menneskets påvirkning dog blevet så overvældende, at forskere har navngivet vores tidsalder som den “antropocæne” altså “menneskets tidsalder”. På den måde skriver vi os ind i den geologiske historie på side med de trilliarder af kalkalger, der lagde navn til kridttiden og eksempelvis skabte Møns klint. Men verdenssamfundet har også besluttet, at naturen og mangfoldigheden af arter fortsat skal have plads. Et af de vigtigste værktøjer til at bevare naturen er de 170.000 beskyttede områder, der udgør 15 % af jordens overflade (et areal svarende til Sydamerika og halvdelen af Australien lagt sammen).

## Hvordan måler man menneskets påvirkning?

Menneskets påvirkning kan ikke kun observeres med det blotte øje, den kan også måles og vejes og har været udgangspunktet for en lang række globale kortlægninger af vores indvirkning på jordens

økosystemer. Det første af disse forsøg stammer fra 1989, hvor forskere ud fra flynavigationskort kortlagte, hvilke dele af jorden der var byer, landbrug og skovbrug, og hvilke der var vild natur. Siden da er flere “opdateringer” kommet til; blandt de mest kendte er *the human footprint*, der i 2002 skabte et kort over menneskets påvirkning af jorden baseret på fire komponenter: 1) en global kortlægning af alle veje i verden, 2) en global kortlægning af befolkningstæthed baseret på lokale folketællinger, 3) globale satellitbilleder af hvor på jorden, der er lys om natten og 4) satellitbilleder af “grønhed”, der gennem en temmelig kompliceret computerproces kan fortælle noget om, hvilke økosystemer der findes hvor. På den måde kombinerede *the Human Footprint* fire centrale elementer af menneskets påvirkning

*The human footprint* og andre lignende kort har dog alle det tilfælles, at de ikke kan fortælle os noget om, hvor tingene bliver bedre, og hvor de bliver værre. De kan kun give et billede af, hvor menneskets samlede påvirkning gennem tiderne har været størst. Som conservation-biologer er det dog netop disse ændringer, vi er særligt interesserede i. De kan



Det nye kort over forandringer i menneskelig påvirkning af landområder fra 1990 til 2010. Røde områder er under stigende indflydelse af menneskelig påvirkning, mens grønne områder oplever en tilbagegang i menneskelig påvirkning.

Illustration: Geldmann et al. 2014, Conservation Biology.

nemlig afsløre, hvor tiltag, der skal beskytte naturen, rent faktisk virker, og hvor de fejler.

### Et helt nyt verdenskort

Med dette udgangspunkt valgte vi at producere et helt nyt verdenskort, der som det første af sin slags viser *ændringerne* i menneskelig påvirkning på globalt plan. Vi gennemgik 26 forskellige datakilder, der alle i en eller anden udstrækning måler negative menneskelige påvirkninger (eksempelvis udbredelsen af invasive arter, forurening eller klimaforandringer). Vi opstillede seks kriterier for at inkludere eller ekskludere de 26 lag, der baserede sig på kvaliteten, udstrækningen (både i tid om rum) og effekten af de påvirkninger, de kortlagde. På den baggrund blev kun tre lag inkluderet i vores endelige analyse: 1) satellitbilleder af lys om natten, 2) befolkningstæthed og 3) udbredelse og intensitet af landbrugsjord. For alle tre lag kunne vi finde data, der strakte sig over 15 år fra 90'erne til 00'erne. Efter udvælgelsen af lagene udregnede vi ændringen over de 15 år for hver af lagene adskilt. Derefter lagde vi dem sammen til ét samlet kort, der viser hvor på jorden, der er sket en intensivering af menneskelige påvirkninger, og hvor der er sket en reduktion. Kortets skala strækker sig fra -100 (maksimal reduktion) til 100 maksimal forøgelse i menneskelige påvirkninger.

### Her øger mennesket sit pres på naturen

Overordnet set viser kortet, at der over de 15 år er sket en samlet forøgelse af menneskelige påvirknin-

ger, og at ca. 64 % af jordens overflade har oplevet et øget pres fra menneskelig aktivitet. Men kortet viser også, at der er store geografiske forskelle, og at de processer, der styrer, om det går frem eller tilbage, ikke er de samme alle steder på jorden. Eksempelvis stiger presset i Asien omkring byerne, mens landområderne mange steder i eksempelvis Indien og Kina oplever forbedringer. Disse ændringer er hovedsageligt forårsaget af store bevægelser af mennesker, der flytter fra landet ind til byerne.

I Europa ses det modsatte billede, hvor byerne oplever forbedringer mens mindre tætbefolkede områder oplever et stigende pres. Her skyldes det ikke nødvendigvis, at folk flytter bopæl. Vores data tyder nærmere på, at det skyldes, at vi har fået bedre teknologi til at spare på lyset i byerne, mens landet uden for byerne er kommet under stigende pres, fordi vi har intensiveret brugen af jorden.

Der er et hav af interessante observationer, man kan gøre ud fra kortet, men vores hovedformål var at se på nogle af de indsats, der globalt set er vigtige for at forhindre tabet af biodiversitet. Her er beskyttede områder *per excellence* det vigtigste værktøj. Samtidig findes der en global database over alle disse områder, så vi faktisk kender både deres størrelse, lokalitet og udformning. Vi kunne derfor sammenholde vores kort med den globale udbredelse af beskyttede områder og teste, om disse faktisk havde været i stand til at begrænse de menneskelige påvirkninger, de var skabt til at forhindre.

Satellitbilleder af den kunstige belysning på jordoverfladen er en af de pålidelige kilder til at kortlægge, hvor den menneskelige aktivitet har ændret sig over tid.

Foto: NASA/GSFC

## Kriterier for udvælgelse af data

Vi opsatte seks kriterier til at vurdere om en datakilde kunne anvendes. For det første skulle alle datalag være globale for at sikre, at de ikke blev medtaget i nogle områder og ikke i andre. For det andet skulle der være mindst to observationer med et passende antal år imellem. For det tredje skulle metodologien mellem de forskellige år være sammenlignelige. Flere datalag er blevet opdateret, men eftersom der i mellemtiden er sket en teknologisk udvikling er lagenes kvalitet, opløsning og underliggende antagelser forskellige. For det fjerde skulle opløsningen i alle lag være sub-nationale. Institutioner som FN's fødevarer- og landbrugsorganisation (FAO) producerer årlige statikker over brugen af pesticider og gødning, men kun på nationalt niveau – en skala, der ikke hænger sammen med den skala, hvor deres effekt optræder. For det femte skulle sæsonvariationer være inkluderet i lagene. For det sjette skulle effekten af de enkelte lag være "ensrettet" – dvs. datakilder, hvor en stigning i nogle tilfælde vil være positiv, mens den i andre vil være negativ, kunne ikke inkluderes. Det gælder eksempelvis klimaforandringer, hvor vi på trods af, at den generelle effekt er negativ ved, at nogle arter faktisk nyder gavn af de forudsete ændringer. Ud fra disse kriterier blev 23 ud af de 26 datalag fravalgt. Flest faldt på kriterierne om global udbredelse eller mere end én sammenlignelig måling.

der og gødning, men kun på nationalt niveau – en skala, der ikke hænger sammen med den skala, hvor deres effekt optræder. For det femte skulle sæsonvariationer være inkluderet i lagene. For det sjette skulle effekten af de enkelte lag være "ensrettet" – dvs. datakilder, hvor en stigning i nogle tilfælde vil være positiv, mens den i andre vil være negativ, kunne ikke inkluderes. Det gælder eksempelvis klimaforandringer, hvor vi på trods af, at den generelle effekt er negativ ved, at nogle arter faktisk nyder gavn af de forudsete ændringer. Ud fra disse kriterier blev 23 ud af de 26 datalag fravalgt. Flest faldt på kriterierne om global udbredelse eller mere end én sammenlignelig måling.

## Grænserne flyttes

På globalt plan har også beskyttede områder gennemsnitlig oplevet en forværring af tilstanden over de 15 år. Og også her er der store geografiske forskelle. Måske mest interessant er, at vi også har undersøgt, hvilke faktorer der har betydning for, om de beskyttede områder er effektive eller ej. Her viser det sig, at beskyttede områder i lande med mindre korruption, bedre uddannelse og en sundere økonomi klarer sig bedre. Det virker måske indlysende, men det er faktisk aldrig blevet påvist at dette mønster er generelt gældende på globalt plan.

Mere overraskende er måske, at beskyttede områder, der lå i stejle, bjergrige områder, klarer sig dårlige end beskyttede områder i lavtliggende egne, og det tolker vi som et tegn på, at grænsen for menneskelig påvirkning flytter sig fortsat længere ud i de vilde og utilgængelige områder, netop fordi naturen i de let tilgængelige områder allerede har måttet vige for mange år siden. På den måde illustrerer disse resultater meget godt forskellen på at kikke på henholdsvis det *samlede pres* og *ændringerne i pres*.

Vores kort over ændringer i menneskelig påvirkning på globalt plan er det første af sin slags. Det viser, at vores negative påvirkning af naturen ikke er vendt, men også at der er steder og løsninger, der ser ud til at virke. Særligt ser vi, at selv om beskyttede områder ikke er immune overfor negative påvirkninger, så klarer de sig bedre i lande med stærkere forvaltning sig bedre.

Ud over disse resultater har vores kort også tydeliggjort den store mangel på data, der gør det svært at kortlægge den menneskelige påvirkning mere præcist. Ud af de 26 datakilder, vi evaluerede kunne vi som nævnt kun bruge tre til at evaluere ændringer over tid. Vores kort udelader derfor en stor del af den samlede historie om menneskets påvirkning af naturen og er med stor sandsynlighed et konservativt estimat. Vi håber derfor også, at dette arbejde kan være med til at sætte fokus på behovet for flere data, så diskussionen om, hvad menneskelige påvirkninger er, og hvordan de måles, kan videreføres og yderligere kvalificeres i fremtiden. ■

### Videre læsning

Geldmann, J., Joppa, L., Burgess, N.D. (2014) Mapping change in human pressure globally on land and within protected areas. *Conservation Biology*. DOI: 10.1111/cobi.12332



# VÆLG DEN RIGTIGE UDDANNELSE

Få mere at vide om de natur- og biovidenskabelige uddannelser på Københavns Universitet. Så er der større chance for, at du vælger en uddannelse, som matcher dine ønsker. Du kan blandt andet:

- Se film om uddannelserne
- Blive studerende for en dag
- Besøge os med din klasse
- Gå i studiepraktik
- Få hjælp til dit studieretningsprojekt

Læs mere om vores uddannelser og dine muligheder  
på [science.ku.dk/ba](https://science.ku.dk/ba)

 Like Facebook-siden "**Bliv studerende på Københavns Universitet**"  
og få studieinfo direkte på din væg.

**Oplev 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



# Når isen “går i sort”

Gletscherisen i Grønland er blevet mørkere. Det er med til at øge afsmeltningen af gletscherne, da de på grund af den mørkere overflade reflekterer mindre af solens stråling tilbage ud i verdensrummet.

Siden 1850 er klodens gennemsnitstemperatur steget med cirka 0,8 grader celsius – det første årti i det nye årtusinde var i gennemsnit det varmeste i den hen ved 150-årige periode, hvor systematiske temperaturmålinger har fundet sted. Også i Grønland var det første årti i det nye årtusinde det varmeste, og det var samtidig det årti, hvor de fleste ekstreme varmetemperaturhændelser fandt sted. Effekten af det varmere klima har sat sine klare spor på gletscherisen i Grønland. En kombination af bl.a. en højere beliggende snelinje, tiltagende algevækst, luftbårne aerosoller fra fossile brændstoffer og sod fra naturlige skovbrande i Alaska, Canada og Sirbien, der er ført med vindsystemerne rundt i Arktis, har således gjort gletscheroverfladerne mørkere siden år 2000.

Effekten af en mørkere is- og sneoverflade er ikke uden betydning. Den mørkere overflade medfører, at gletscherne i fx indlandsisens randområde bliver dårligere til at reflektere solens stråler tilbage ud i verdensrummet og i stedet bedre til at optage solvarmen, da mørke flader absorberer solens stråler lettere end lyse flader.

Forholdet mellem mængden af solenergi, der reflekteres, og mængden, der rammer jordoverfladen, kan videnskabeligt udtrykkes som *albedo*. Et fald i albedo kan karakteriseres som en *positiv feedback multiplikator*. Det vil sige, at et fald i albedo forstærker en proces, der i forvejen er selvforstærkende. Vi kan altså forvente, at de mørkere gletschere vil medføre en tiltagende afsmeltning og dermed tab af ismasse.

## Grønland under lup

De grønlandske gletschere beliggende i indlandsisens randområde – mellem indlandsisen og oceanet – er blevet sat under lup, da størstedelen af smeltvandsbidraget til den globale havniveaustigning for tiden kommer fra gletschere. Det kan synes paradoksalt, da gletschere rundt om i verdenen kun udgør en potentiel global havniveaustigning på 0,6

meter. Til sammenligning udgør Indlandsisen og det Antarktiske Isskjold en potentiel global havniveaustigning på henholdsvis 7,4 meter og 56 meter. At de langt mindre gletschere alligevel leverer mest smeltvand til oceanerne skyldes ikke overraskende, at gletschere netop på grund af deres mindre størrelse har en hurtigere tilpasningsevne – kortere responstid – i forbindelse med forandringer i klimaet end de større isskjolde.

I Grønland findes en betydelig andel af klodens samlede gletschere. Her er tale om ca. 20.000 gletschere, som vi har et yderst begrænset kendskab til hvad angår albedo og massebalance, da hovedparten af gletscherne ligger i utilgængelige egne, hvor feltarbejde er yderst vanskeligt at udføre.

## Øjne i himlen og observationer på jorden

I et EU-financeret projekt forsøger vi i samarbejde med forskere fra University of Sheffield i England at kortlægge og dermed skabe bedre forståelse for processerne bag den tidsmæssige og rumlige variation i albedo. Til det formål kombinerer vi satellitbilleder, fotoer fra droner (octocopters), og albedo-observationer direkte fra gletscherisen i Grønland.

I første omgang har vi kigget på Mittivakkat-gletscheren med dens forskellige forgreninger (med et areal på 26,2 km<sup>2</sup>) beliggende i Sydøstgrønland, der er den gletscher i Grønland, hvor man i længst tid har observeret massebalancen. Her er gletscheroverfladen siden år 2000 i gennemsnit blevet ca. ti procent mørkere i slutningen af smeltesæsonen (slutningen af juli til medio august) med en ændring i albedo fra 0,43 til 0,33. Til sammenligning faldt den gennemsnitlige albedo for indlandsisen syv procent fra 0,75 i 2000 til 0,68 i 2012. Det betyder, at gletscherens evne til at reflektere og tilbagekaste sollys i gennemsnit er blevet mindre og mere solenergi er nu tilgængelig til at smelte gletscheren end tidligere. Enkelte steder er albedoen endog faldet med op til 25 procent, specielt de steder, hvor gletscheroverfladerne siden 2000 er overgået fra at være

### Forfatterne:



Sebastian H. Mernild er klima- og polarforsker (ph.d.) ved Climate Change and Glaciology Department, Center for Scientific Studies, Valdivia, Chile. mernild@cecs.cl



Jeppe K. Malmros er ph.d.-studerende ved Climate Change and Glaciology Department, Center for Scientific Studies, Valdivia, Chile og Institut for Geovidenkab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. jeppe@cecs.cl



Mittivakkat-gletscheren, Østgrønland, ved den øverste beliggende del af gletscheren (870 m.o.h.). Variationer i gletscherens overfladeforhold medfører variationer i albedoen. I forgrunden ses Professor Edward Hanna, University of Sheffield og i baggrunden Irminger-havet.

Overfladen af Mittivakkat-gletscheren i august 2014, Østgrønland. Her ses en af "vådzoneerne" med løbende overfladesmeltevand (supraglaciale vandløb). →

Fotos: S. H. Mernild.



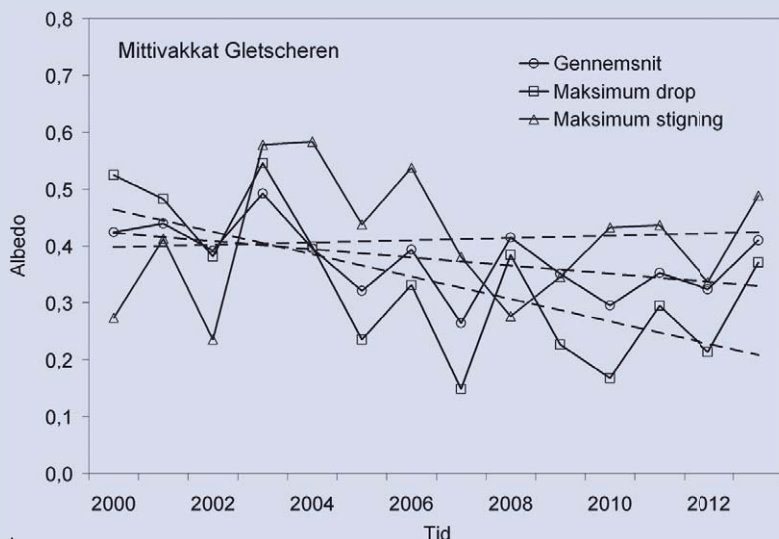
## Albedo

Ordet *albedo* kommer fra latin og betyder "hvidhed". Albedo er et udtryk for, hvor meget af solindstrålingen, der reflekteres tilbage ud i verdensrummet (se formel). Når solen sender sine stråler gennem atmosfæren, reflekteres de af skyer, støvpartikler og i særdeleshed af Jordens overflade. Albedoen er dimensionsløs og måles på en skala fra nul (refleksion af en helt sort overflade) til 1 (refleksion af en hvid overflade). Jordoverfladens albedo varierer i størrelse, hvor nyfalden sne har en albedo på 0,75–0,98 (hvilket betyder, at 75-98 procent af solindstrålingen bliver reflekteret, mens kun

2–25 procent bliver absorberet på overfladen og dermed kan medvirke til at smelte sneen). Gammel sne har en albedo på 0,46-0,85, gletscheris uden udsmltet materiale på overfladen har 0,30-0,46, gletscheris rig på udsmltet materiale 0,06-0,30, grundfjeld omkring 0,20 og vandoverflader omkring 0,10.

Formel for albedo ( $\alpha$ ):  $\alpha = S_u / S_j$

hvor  $S_j$  er lig indkommende kortbølget solindstråling og  $S_u$  reflekteret solstråling.



↑ Tidsserier af satellitbestemt (MODIS) albedo for Mittivakkat-gletscheren. Her er vist den gennemsnitlige, maksimalt stigende og maksimalt faldende albedo fra 2000 til 2013 for slutningen af smeltesæsonen (28. juli til 16. august).

Gennemsnitlige satellitbestemte (MODIS) albedotendenser fra 2000 til 2013 for Mittivakkat-gletscheren med dens forskellige forgreninger for slutningen af smeltesæsonen (28. juli til 16. august). →

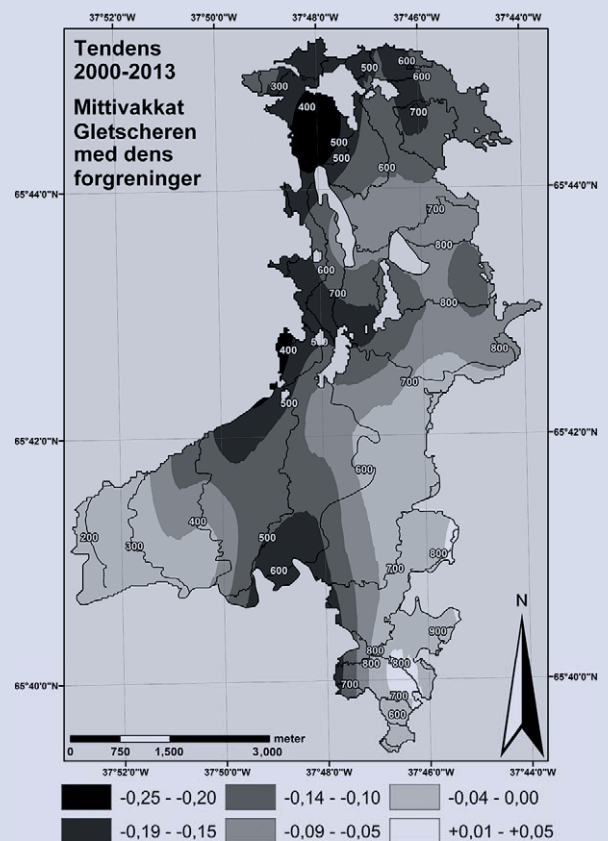
### Albedomåling fra satellit

Til at måle albedoen fra satellit udnytter vi NASA's TERRA- og AQUA-satellitter. Som navnene antyder, er TERRA fyldt med sensorer, der har med observation af landoverfladen at gøre, mens AQUA har særlige sensorer til monitorering af oceanerne. Begge satellitter er udstyret med sensorsystemet MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), der er velegnet til formålet. Det er en såkaldt multispektral-sensor med en opløsning på

snedækkede til at være isdækkede. De steder, hvor gletscheren permanent havde snedække eller permanent isdække har vi observeret et gennemsnitligt albedofald på omkring fem procent. På steder på den snedækkede gletscherdel (dækkende et areal omkring 0,2 km<sup>2</sup>) blev der observeret en mindre stigning i albedoen på omkring to procent.

Mere interessant er, at vi observerede albedoværdier ned til 0,3 og 0,1 ved slutningen af smeltesæsonen på de steder, hvor gletscheren netto nedsmelter 2,5–3,5 meter pr. år. Disse observerede albedoværdier ligger omtrent på niveau med albedoværdier målt for grundfjeld.

Det generelle fald i albedo, vi observerer, kan meget vel være medvirkende til, at afsmeltningen i gennemsnit sker hurtigere end forventet, og hurtigere end regionale klima- og ismodeller indikerer. Sandsynligvis fordi de anvendte modeller – eksempelvis nogle af dem, som FN's klimapanel anvendte i deres femte vurderingsrapport (AR5) fra 2013 – benytter



jorden på 250–500 meter i de visuelle bølgelængder (dvs. de bølgelængder, der kan opfattes af det menneskelige øje), hvor også albedo måles. Systemet har fungeret næsten problemfrit siden 1999 og har været et af de vigtigste instrumenter til observation af jordoverfladen og dermed til vores viden om jordens dynamik gennem de seneste 15 år.

sig af simplificerede fysiske og matematiske beregningsmetoder af udviklingen i såvel sneens som isens albedoforhold. Derved er de ikke i stand til at reproducere de tidsmæssige og rumlige albedoprocesser og -variationer, som reelt forekommer.

### Albedo og algevækst

Sådanne processer og variationer har vi denne sommer forsøgt systematisk at kortlægge i forbindelse med feltarbejde i Østgrønland i randzonen omkring indlandsisen, bl.a. på Mittivakkat-gletscheren. Her viser vore observationer, at der kan forekomme markante variationer i albedo indenfor blot få meters afstand, men også at albedoen generelt stiger med højden for snefaner (0,04 pr. 100 m) og bare isoverflader (0,03 pr. 100 m) mens albedoen er konstant med højden for "vådzoner". Her er vådzoner defineret som områder, hvor der løber smeltevand på overfladen (supraglaciale vandløb).

Variationer i albedoforholdene ses også at være afhængige af snelinjens beliggenhed (der nu i slut-

Albedo blev målt detaljeret over forskellige overfladetyper gentagne gange gennem feltperioden. Billederne her er fra begyndelsen af august og viser mørkfarvning af isen, der har betydning for overfladens albedo. De fire øverste fotos viser en isoverflade med forskellige grader af dække af materiale udsaltet fra gletscheren (kvadraterne har en sidelængde på en meter).



Fotos: S. H. Mernild

**Videre læsning:**

Mernild, S. H., m.fl. 2014. Albedo decline on Greenland's Mittivakkat Gletscher. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.4128.

Mernild, S. H., m.fl. 2014. Northern Hemisphere glaciers and ice caps surface mass balance and contribution to sea-level rise. *Journal of Climate*, 27(15), 6051–6073, doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00669.1.

Mernild, S. H., m.fl. 2014. Coastal Greenland air temperature extremes and trends 1890–2010: Annual and monthly analysis. *International Journal of Climatology*, 34, 1472–1487, doi: 10.1002/joc.3777.

Mernild, S. H., m.fl. 2014. Greenland precipitation trends in a long-term instrumental climate context (1890–2012): Evaluation of coastal and ice core records. *International Journal of Climatology*, doi:10.1002/joc.3986.

Dark Snow Project: [www.darksnowproject.org](http://www.darksnowproject.org) (et crowd funded projekt om albedoforholdene på indlandsisen).

Reflecting on Earth's albedo: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Reflecting\\_on\\_Earth\\_s\\_albedo](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Reflecting_on_Earth_s_albedo)



Til venstre ses et såkaldt *kryokonithul* (*kryos* betyder "kulde" eller "frost" på græsk og *konis* betyder "støv"). I disse huller findes helt specielle forhold med temperaturer målt op til cirka 5 °C, hvilket kan fungere som habitat med en rig mikrofauna af bakterier og alger. Nederst til højre ses is farvet med rød-alger. Rød-algerne er typisk et mix af forskellige algetyper og er ofte svære at skelne fra hinanden i et lysmikroskop. Letherman-kniven (10 cm lang) kan anvendes som skala.

ningen af smeltesæsonen i gennemsnit ligger cirka 200–250 hundrede meter højere på gletscheren end i 2000), vandindholdet i sneen, ændringer i snekrySTALLERNES form, udsaltet materiale fra gletscheren (ler, silt, sand), nedfalden sod og algevækst. Netop alger synes at spille en betydelig rolle i albedoforholdene, da algevæksten (fra tusindevis af alger fra hver opmålt milimeter) tager til i omfang i takt med, at solindstrålingen øges henover smeltesæsonen. Herved skifter algerne pigment (farve) for at beskytte sig mod det direkte sollys, så de fx får et mørkerødt skær. Et pigmentskifte, der nemt kan spottes med det blotte øje, og som gør, at overfladen bliver mørkere, hvorved mere sollys absorberes.

**Fremtiden med stigende vandstand**

At forstå og kortlægge de fysiske processer, der involverer klimaets effekt på overfladerne af de mange gletschere rundt om i Grønland og Arktis, er en videnskabelig udfordring. Stadig er der en del vedrørende gletschernes albedoprocesser og de positive feedback mekanismer, vi skal have under-

søgt: Hvad er fx algernes indflydelse på albedoforholdene og efterfølgende på smeltningsraten, da hver algetype forventeligt har sine egne karakteristika. Jo bedre, vi bliver i stand til at forstå og beskrive albedoprocesserne og disses variationer i tid og rum, jo bedre vil vi blive til at opstille nøjagtige beregningsmodeller for albedoforholdene og for gletschernes massebalancer. En bedre forståelse af albedoforholdene og deres samspil med fx sneforholdene, materiale udsaltet på overfladen samt algevæksten vil med andre ord gøre os bedre til at beregne isens tilstand og i sidste ende massetabet og dermed bidraget til det stigende, globale havniveau. Et stigende havniveau, der er vurderet til at være én af de største fremtidige klimarelaterede udfordringer, vores samfund står overfor.

I den forbindelse vil "havniveau tilpasning" blive et uundgåeligt problem, især for lavtliggende lande som Danmark. Det skyldes i særdeleshed, at vi kan forvente endnu varmere temperaturer i fremtiden og mere ekstremt klima end det, vi har været og til stadighed er vidne til. ■

# FLYT VERDEN FRA TEORI TIL TEKNOLOGI

## LÆS FYSIK OG NANOTEKNOLOGI

Fysik og Nanoteknologi handler om, hvordan verden er skruet sammen. Du zoomer ind på grundlæggende problemstillinger og sætter fokus på moderne forskning og teknologi. Fordyber dig, eksperimenterer og ser tingene i et større perspektiv. Konstruerer nye materialer med unikke egenskaber i nanoskala. Du forandrer verden.

Du skaber overblikket og vælger retningen på

[WWW.FLYTVERDEN.DK](http://WWW.FLYTVERDEN.DK)



AALBORG UNIVERSITET  
AALBORG · ESBJERG · KØBENHAVN

# Forskende film

Social mobilisering, afslørende journalistik og filosofiske refleksioner forbindes traditionelt med dokumentarfilm-genren. Men kan dokumentarfilm også gøre en forskel i forskningsverdenen? Mads Mikkelsen, programlægger på dokumentarfilmfestivalen CPH:DOX, giver her sine svar.

Af Mette Juhl Jessen

**H**vad kan dokumentarfilm tilbyde forskning? Mads: »Feltet imellem forskning og film og andre kunstformer er inde i en rivende udvikling for tiden. Jeg tror bl.a., at den metodiske frihed i en kunstnerisk praksis kan give forskere anledning til at se på deres eget arbejde udefra – og måske bryde med nogle af videnskabens tabuer. På CPH:DOX deltog vi for nylig i Science in the City-festivalen under ESOF med et film- og debatevent, hvor netop denne udveksling var noget, som næsten alle deltagerne pegede på som et felt med et enormt potentiale.«

*Film kan være et glimrende medie til at formidle sværttilgængelig videnskab og forskning, men kan film også bidrage til videnskaben med andet end formidling?*

Mads: »Absolut. Det er fx rammende, at de mest nyskabende og avancerede dokumentarfilm for tiden kommer fra en afdeling på et universitet (Sensory Ethnography Lab på Harvard). Deres film har været store succeser hos både kritikere og publikum på internationale filmfestivaler, inklusive vores egen. Det er også interessant at huske på, at nogle af de allertidligste film, der blev lavet i slutningen af 1800-tallet, faktisk var en slags forskningsprojekter, hvor filmmediet gjorde det muligt at studere fysiske fænomener, der ikke kunne iagttages med det blotte øje. På en måde ligger den moderne udvikling i forlængelse af disse tidlige forsøg ved hjælp af en teknologi, der i mellemtiden er blevet meget mere sofistikeret.«

*Hvilke film på årets CPH:DOX ligger i spændingsfeltet mellem film og forskning?*

Mads: »Vi har et helt fokus på nogle af de fundamentale forandringer i feltet mellem teknologi og

samfund, som vil komme til at forme vores verden i den nære fremtid. I den forbindelse viser vi både film, der handler om nogle af de teknologiske revolutioner, vi står over for – 3D printing for eksempel – og film, hvor forskningen er en integreret del af filmen. Et dansk eksempel er filmen *Genetic Me* med videnskabsjournalisten Lone Frank, der bruger sig selv og sin egen erfaring til at blive klogere på, hvordan vores gener bestemmer, hvem vi (tror vi) er. Andre film er mere abstrakte refleksioner over forskning og erkendelse. En af mine egne favoritter er den amerikanske film *The Lanthanide Series*, der på en dybt original måde er struktureret over det periodiske system!«

*Hvorfor er den type film relevante for en filmfestival?*

Mads: »Fordi de er gode film! Og fordi man bliver klogere af at se dem. Samtidig kan vi se, at interessen fra publikums side er i voldsom vækst. For nogle år siden ville alle se filmen om The Beatles. Sidste år ville alle se filmen om partikelfysik og CERN. Det er en ret vild udvikling.«

*Hvorfor er den type film relevante for en forskningsinstitution?*

Mads: »Jeg har selv enorm respekt for videnskabeligt arbejde. Faktisk er jeg en smule jaloux på folk, der forstår fænomener som sorte huller og den slags... Men film er jo et populært medie, og jeg tror, at film som disse også kan hjælpe forskere til at blive bedre til at udnytte den store nysgerrighed for deres arbejde, som faktisk findes ude i samfundet. Også hos et publikum, der ikke selv er skolet i partikelfysik.«

CPH:DOX finder sted 6.-16. november 2014

Hold øje med programmet på [cphdox.dk](http://cphdox.dk) ■

Dokumentarfilm med naturvidenskabeligt indhold hitter for tiden. Her er det indtryk fra filmen *The Lanthanide Series*, der har premiere ved dette års CPH:DOX. Filmen beskrives som værende til dels "en meditation over lanthaniderne (de "sjældne jordarter") – i det periodiske system".

Foto: CPH:DOX

**Om forfatteren**  
Mette Juhl Jessen er presseassistent hos Dansk Presse [mette.cphdox](http://mette.cphdox.com) [@cphfilmfestivals.dk](http://cphfilmfestivals.dk)

# Flyver vandløbets mod strømmen?

Når man en smuk sommeraften ved åen ser sværme af insekter flyve op mod strømmen, er det så en målrettet adfærd eller blot en tilfældig flyveretning den dag? Sagen er ikke så let at afgøre som man skulle tro.

Egentlig er det en gåde, at der stadig er døgnfluer, slørvinger og andre insekter i bække og åer. Hvorfor er vandløbenes smådyr ikke for længst endt i havet, ligesom landskaberne, som vandløbene uafbrudt, sandskorn for sandskorn, gnaver løs og fører til havs?

Et svar, men næppe det eneste, kan være, at de voksne hunner flyver op mod strømmen og lægger æggene i de øvre strækninger. En af de første, der skrev om og fortolkede denne "opstrømsflugt", var den tyske biolog Eduard Schoenemund, som i 1930 skrev: »9. juni 1929 så jeg ved en lille flod i Sauerland en sky af de bittesmå *Caenis*-døgnfluer bevæge sig i fodgængerfart op imod strømmen, alt mens flere og flere sluttede til skyen. En hær af ivrigt jagende svæler fulgte med.« Schoenemund tolkede denne adfærd som en kompensation for det tab, der sker, når strømmen driver *Caenis*-larver nedstrøms.

Denne fortolkning mødes ofte med skepsis og overbærenhed. Der stilles spørgsmål ved, om opstrømsflugt eksisterer, om den er et generelt fænomen, eller om den overhovedet betyder noget. Ser man insekter, der flyver mod strømmen, så lyder kritikken, at det kan være ganske tilfældigt, eller de flyver som vinden blæser. Og så opvejer de nok tabet ved at lægge æg nok.

Jeg må medgive, at mange artikler, der er skrevet om emnet, giver et broget billede. Nogle viser klar opstrømsflugt, andre ikke, eller tværtimod. Snarere end at samle disse modstridende resultater i en pærevælling og afskrive teorien bør man fortolke flugtmønstrene ud fra de undersøgte arters biologi. Vandløbsinsekter ser ikke kun forskellige ud. De tilpasser sig livet i det strømrende vand på forskellig

vis. Det, man overfladisk kan opfatte som et forvirrende flugtmønster, kan afspejle en alsidig virkelighed: Nogle arter kan have brug for opstrømsflugt, andre ikke eller i mindre grad. Kun i meget få publikationer er sådan viden inddraget.

Jeg synes, fænomenet er en naturhistorie, der fortjener at blive kendt. Den er ganske godt dokumenteret, også i Danmark. Jeg vil lade en af vore mest almindelige døgnfluer, *Baetis rhodani*, fortælle sin version af historien.

## Insektfælder

Alle, der færdes ved åen om sommeren, kan med egne øjne af og til se sværme af insekter flyve op mod strømmen. Sådanne iagttagelser er dog anekdotiske og tæller ikke som "rigtig" videnskab. I morgen kan de måske flyve den modsatte vej. Derfor prøvede jeg sammen med to kolleger for over 40 år siden at gå mere systematisk til værks. Vi lavede insektfælder ved at smøre plastfolie ind i den slags lim, som man smører på frugttræers stammer for at hindre sommerfuglelarver i at kravle op og spise bladene. Små fælder (<1 m<sup>2</sup>) blev spændt tværs over forskellige små bække, og en stor (0,6 x 4 m<sup>2</sup>) blev spændt tværs over Sønderup å i Himmerland. Vi håbede, at når døgnfluerne fløj af sted med æggene over vandløbet, ville nogle af dem støde ind i fælden og blive hængende på den side, de ramte. Så kunne vi tælle, hvor mange der var fløjet op eller ned ad åen. Vi var helt klar over, at et flugtmønster kunne sløres af, om vinden blæste dyrene den ene vej eller den anden.

Vi valgte døgnfluerne som de mest lovende. De lever, som navnet siger, kort tid. Der er ikke så mange andre flyveaktiviteter, der kan distrahere dem end "en date, og så af sted med afkommet".

### Forfatteren

Bent Lauge Madsen er mag. scient. i ferskvandsbiologi (1968), pensioneret (2001) fra Miljøministeriet. Han fik i år Wessenberg-Lund prisen for "en mere end hæderlig indsats for dansk ferskvandsbiologi". bent@laugemadsen.dk

# insekter

Til sammenligning har fx slørvinger et langt, aktivt voksenliv (ca. 1 måned), hvor de udvikler og lægger æg i flere omgange. Deres flugtmønster bliver derfor – ja, mere sløret.

## Opstrømsflugt

Døgnfluerne i Sønderup å gav os en unik mulighed for at vurdere vindretningens indflydelse. Når larverne forlader vandet, bliver de kortvarigt til såkaldte subimagoer eller “dun”, som fluefiskerne kalder dem. De er ikke kønsmodne, og de flyver dårligt med deres dunede vinger. Vi kan forvente, at disse halv voksnede døgnfluer fordeles tilfældigt og som vinden blæser på fældens to sider. Har de ægbærende hunner en opstrømsrettet flugt, kan vi derimod forvente, at fordelingen på fælden er usymmetrisk med flest på den side, der fanger dem, der flyver opstrøms. Da de to stadier optræder samtidigt, vil en evt. indflydelse fra vinden kunne vurderes ud fra fordelingen af subimagoer.

Der blev fanget 6.921 *Baetis* på fælden i Sønderup å, heraf 97,1 % ægbærende hunner (Se boks). I alle prøver var der flest *Baetis*-hunner (4.910) på den side, der fangede dem, der fløj i opstrøms retning. Derimod var der ingen forskel på fordelingen af subimagoer på de to sider.

4.815 hunner af en anden døgnflueart, *Ephemerella ignita*, viste det samme mønster med 3.868 på den side, der fangede dem, der fløj opstrøms. Fordelingen af subimagoer (550) i samme periode var tilfældigt fordelt på de to sider.

Nu er statistisk signifikans ikke det samme som et endegyldigt bevis, men det synes nærliggende at fortolke disse observationer som at ægbærende hun-



De ca. 1 cm store døgnfluelarver, *Baetis* sp. (øverst) og *Ephemerella ignita* (broget døgnflue), lever på vandløbets sten og planter. Her er en så stor risiko for at blive revet med af strømmen, at de kan tænkes at have udviklet en opstrømsflugt, som sammen med andre tilpasninger sikrer dem en varig plads i vandløbenes øvre dele. Begge arters opstrømsflugt er undersøgt i Sønderup Å.



Voksen *Baetis*. Vi har 9 arter af slægten. Arten *rhodani* er mest almindelig. Den var enerådende i bækkene og dominerede i Sønderup å. Men her var også en del *B. vernus* og *B. macani*. *B. rhodani* havde i bækkene en kort sommergeneration og en lang vintergeneration. Antal generationer i Sønderup å var ukendt.



Her er æggene fra tre *Baetis*-hunner. De lander på sten, pæle eller planter, der rager op over vandet. Herfra kravler de ned i vandet og klæber æggene, fast til stenen et for et, så de ikke rives løs.

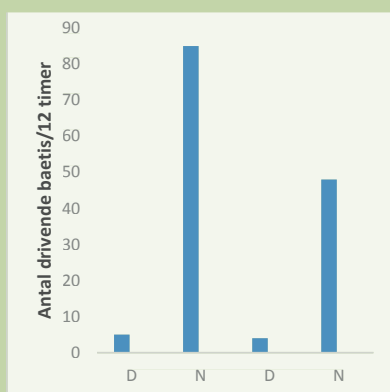
## Døgfluelarven i strømmen

*Baetis*-larven udnytter fordelene ved at leve i strømmen på oversiden af sten, hvor strømmen sørger for friskt, iltrigt vand, og hvor der fra det tidlige forår er en frisk "græsmark" af kiselalger at leve af. Til trods for, at larven er strømlinjet, og at den kan holde godt fast med klørerne, river strømmen den alligevel løs. Det giver sig udslag i en "nedstrømsdrift" af larverne. Når larverne rives løs får de fleste fodfæste igen inden for 1 til 3 sekunder. Med en strømhastighed i det frie vand på 20 til 40 cm/s når de derfor næppe at drive langt, hver gang de slipper. Men slipper de ofte, kan den samlede drift over tid selvfølgelig blive stor.

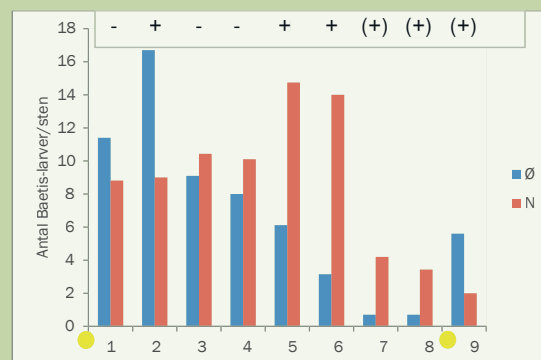
Som så mange andre af vandløbets smådyr kravler *Baetis*-larverne imod strømmen. Et godt spørgsmål er derfor, om denne opstrømsvandring kan kompensere for nedstrømsdriften. For at få svar på det må man tælle antallet af larver opstrøms og nedstrøms gennem året for at se, om bestanden

forskydes i nedstrøms retning. Det er næppe muligt at måle i større vandløb: Hvor begynder bestanden, hvor ender den, hvor overlapper de hinanden?

Vi forsøgte derfor i sin tid at undersøge sagen i den kun ca. ½ km lange Skovkilde ved Granslev å, hvor *Baetis* lever på stenene. En for intensiv indsamling kan forstyrre den begrænsede bestand, så vi lagde alle stenene omhyggeligt på plads igen og satte de fleste af larverne tilbage i vandet efter de var talt. Med 4 til 6 ugers mellemrum, fra æggene klækkede i september (1968) til de voksne kom frem april 1969, talte vi larver (2.633) på i alt 346 sten 100 m fra udspringet og 300 m længere nedstrøms. Som figuren herunder viser, tyder det på, at bestanden i denne lille bækstrækning forskydes i nedstrøms retning i løbet af sæsonen. 40 år senere viste stikprøver taget i forår og efterår samme tendens.



Ved at lede lidt (her ca. 10%) af bækkens vand gennem et net eller en sigte kan vi måle, hvor mange *Baetis*-larver, der rives væk af strømmen (nedstrømsdriften). Her er målt dag og nat over to døgn i Sugebæk ved Silkeborg i juni 1970. Den store forskel på dag- og natdriften hænger nok sammen med, at larverne om dagen søger ned i skjul på stenenes kanter og frie undersider.



Gennemsnitligt antal larver af *Baetis (rhodani)* pr. sten målt øverst (Ø) og nederst (N) i Skovkilden fra september 1968 til april 1969 (1-6), samt marts (7), april (8) og november (9), 2009. Gul kugle viser sensommer-æg. + og - viser sandsynligheden for, om forskellene mellem de to stationer er signifikant forskellige eller ej ifølge en Wilcoxon rank test.

ner foretrækker at flyve mod strømmen.

Vi fandt det samme *Baetis*-mønster på de små limfælder, vi havde spændt over de små bække, om end i meget mindre målestok. Den store forskel mellem antallet af begge arters ægbærende hunner og subimagoer (ca. 9:1) på Sønderup-fælden kan støtte, at der er en opstrømsflugt: Subimago er fra lokale bestande, de ægbærende hunner er også kommet langvejs fra.

Undersøgelser i udlandet har siden støttet, at opstrømsflugten for *Baetis* er en realitet: Ved en lille flod i Alaska dryppede Anne E. Hershey og kolleger i 1993 kontinuert <sup>15</sup>N-isotoper i vandet, som *Baetis*-larverne indtog med føden. Isotopen fortyndes på vej væk fra strækningen, så <sup>15</sup>N-signalet i larverne og i de voksne, der klækkes, bliver svagere og svagere nedstrøms. De fandt, at mange af de voksne *Baetis*, der blev fundet, havde svagere <sup>15</sup>N-signal end larverne samme sted. De voksne må altså stamme fra larver længere nedstrøms. Mellem en og to tredjedele var fløjet 1,6-1,9 km opstrøms. Og det svarede til de ca. 2 km, man med anden metode havde vurderet, at ca. samme andel larver var drevet nedstrøms.

### Naturen har mange løsninger

Naturen er "omkostningsbevidst". På langt sigt vinder de smarte løsninger over de mindre smarte. Er det mere økonomisk, at en *Baetis*-hun fragter tusinde æg nogle hundrede meter op mod strømmen, end at en passende andel af larverne kravler derop (se boks). Er det en bedre løsning, at de hunner, som strømmen ikke har drevet nedad, klarer bestandens tab ved at producere flere æg, end at hunner, der er drevet nedad, bærer æggene opad? Eller er det nok, at hunnerne bare spreder sig tilfældigt op og ned og på kryds og på tværs?

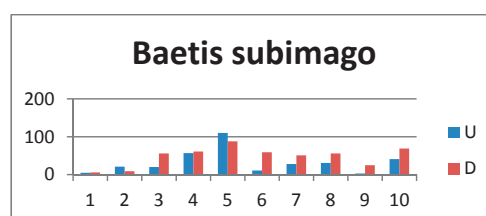
Hvad der er en god løsning for en art er ikke nødvendigvis en god løsning for en anden art. En art kan også have flere løsningsbidrag på samme problem. Larverne kan vandre imod strømmen, mens tilbageværende hunner kan producere ekstra mange æg. Men de voksne hunner, som også har udviklet en tendens til at forskyde sig opstrøms med æggene, har taget et evolutionært skridt, der kan give disse individer en selektiv fordel. De kan med tiden komme til at dominere populationen. Sådan fungerer naturen, formodentlig også i vandløb.

Vi kan kun forvente et klart opstrøms-signal i flyvemønsteret hos arter, hvis larver er udsat for en betydelig risiko for at drive med strømmen og som har et flyvemønster uden for megen støj.

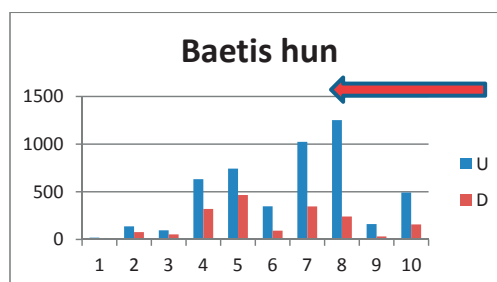
Den danske kritik af undersøgelser, der handler om opstrømsflugt, refererer især til data fra en konference-rapport af Irene Petersen og kolleger



Skovkilden ved Granslev å, hvor *Baetis* lever på stenene.



Figur 4: Figuren viser fordelingen af 818 subimagoer af *Baetis* (ca. lige dele hanner og hunner) over 10 prøveperioder ved Sønderup å (12. juni til 17. september 1972). De er tilfældigt fordelt statistisk på fældens to sider.



Figur 5: *Baetis*-hunner med æg på henholdsvis opstrøms- og nedstrøms side af fælden ved Sønderup å. Der er signifikant flest *Baetis*-hunner på den side af fælden, der fanger dem, som flyver op mod strømmen (U). Rød pil er strømretning.



Simested å. Ådalens plantevækst er levested for vårfluer og mange andre voksne vandløbsinsekter. Her spiser de, danser og parrer sig. Og herfra kan de sprede sig både langs vandløbet og på tværs til andre.

#### Mere at læse.

Hershey AE, Pastor J, Peterson BJ & Kling GW 1993: Stable isotopes resolve the drift paradox for *Baetis* mayflies in an arctic river. *Ecology* 74: 2315-2325  
Kopp M, Jeschke JM & Gabriel W 2001: Exact compensation of stream drift as an evolutionarily stable strategy. *Oikos* 92, p. 522-530  
Macneale KH, Peckarsky BL & Likens GE 2005: Stable isotopes identify patterns of stonefly populations living along stream corridors. *Freshwater Biology* 50: 1117-1130.  
Madsen BL, Bengtson J & Butz I 1977: Upstream movement by some Ephemeroptera species. *Archiv für Hydrobiologie*, 81: 119-127.  
Petersen I, Winterbottom JH, and Orton S & Hildrew AG.: Does the colonization cycle exist? Biodiversity in benthic ecology. Proceedings from Nordic Benthological Meeting in Silkeborg, Denmark 13-14 November 1997. Neri Technical report no 266.  
Vance S A 1996: Morphological and behavioural sex reversal in mermithid-infected mayflies. *Proc. R. Soc. London*. 263:907-912

fra 1997, der bygger på undersøgelser af tre sløvvinge-arter (2 arter af *Leuctra* og 1 art *Nemourella*). Der blev fanget ca. 7.000 individer i tre retningsbestemte fælder ved en engelsk bæk, og de viste intet spor, der kunne fortolkes som opstrømsflugt. Men det er i mine øjne heller ikke at forvente. Alle tre arters larver bor i revner og sprækker i bunden og mellem døde blade, hvor vandstrømmen måles i mm/s eller mindre. Hos ca. 11.000 sløvvinger med tilsvarende levevis (*Nemoura*) fanget på tre limfælder ved en skovbæk ved Silkeborg, kunne vi heller ikke se noget spor af en opstrømsflugt. Og dog har selv *Leuctra*, trods sin beskyttede tilværelse, nok alligevel en flig af opstrømsflugt: Det har Macneale og kolleger vist i 2005 med <sup>15</sup>N-mærkede *Leuctra* ved Nordamerikanske skovbække.

#### Tag ud til åen...

Mit mål med denne naturhistorie er at fortælle, at man nøje må gennemtænke fortolkningen af opstrømsflugt-undersøgelser. Det kræver et kendskab til den del af forsøgsdyrenes levevis, der er relevant for problemstillingen. I dette tilfælde især deres forskellige reaktioner over for strømmen. Mit håb er, at artiklen kan inspirere til at tage ud til åen en lun, stille sommeraften og se, om det virkelig er rigtigt, at døgnfluerne flyver op mod strømmen. Og måske se efter på de limfælder, edderkopperne spinder på broens gelænder: På hvilken side sidder døgnfluerne? Sådan fandt jeg ud af, hvilken vej nattens døgnflue, den lille *Brachycercus*, åbenbart flyver. De fleste var i den side af spindene, der vendte nedstrøms. Og det havde edderkopperne jo fundet ud af før mig. Nå ja, det er jo kun en anekdote. ■

## Blinde passagerer

En interessant detalje i vore undersøgelser af *Baetis* i Sønderup å for over 40 år siden var, at ca. 3 % af de *Baetis*, der blev fanget på fælden, lignede hanner. I den gamle protokol fra 1972 havde vi noteret, at disse var "mærkværdige hunner uden æg", og at de havde en parasitisk nematod (rundorm). Det tænkte vi ikke nærmere over dengang. Men nu er de interessante. Man har nemlig vist, at parasitten, som hedder *Gasteromermis*, får hanner til at ligne og til at opføre sig som en drægtig hun.

Parasitten skal tilbage til vandet, og det kommer den jo kun, når den er i en hun. Men hannerne bliver på land, undtagen dem, der har parasitten: Disse transseksuelle hanner følger med hunnerne på opstrømsflugten, og de følger med ned i vandet i den "tro", at de skal lægge æg! I stedet lægger de en nematod. Den inficerer en ny *Baetis*-larve. I øvrigt påvirker nematoden også *Baetis*-larven til ikke at drive så hyppigt som dem uden parasitten. Så er risikoen for at ende i en ørredmave mindre.

# FÅ HJÆLP TIL DET EKSPERIMENTELLE ARBEJDE I DIN SRP!

---



Foto: Henrik Olesen

Ann og Azadeh arbejder med mitralklappen fra en gris og måler, hvordan det påvirker kraftbalancen i hjertet.



# Rundetårn og kik

## – nyt lys på gammel historie

Den gængse historie om det astronomiske observatorium på Rundetårn fortæller, at Rundetårn oprindeligt var udstyret med en kikkert, som dengang var et nyt og innovativt instrument. Men der var ingen kikkert på Rundetårn fra start. Først i slutningen af 1600-tallet vandt kikkerten indpas i dansk astronomi.

### Om forfatteren



Helge Kragh er professor ved Videnskabsstudier, Institut for Matematik, Aarhus Universitet  
helge.kragh@css.au.dk

Sammen med Rosenborg Slot og Børsen hører Rundetårn i Københavns midte til byens største turistattraktioner og historiske klenodier. Det 36 m høje tårn med dets karakteristiske mere end 200 m lange sneglegang var fra starten planlagt som et astronomisk observatorium i tilknytning til universitetet. Det er faktisk det næstældste universitetsobservatorium i verden, kun overgået af det observatorium, der i 1633 blev oprettet i den hollandske universitetsby Leiden og som ikke længere findes.

Projektet nød i høj grad kongelig bevågenhed. Det blev til på befaling af Christian IV, der ønskede at kaste glans over hovedstaden og vise sig som mæczen for den himmelske videnskab. Ikke blot engagerede han sig aktivt i den arkitektoniske udformning af tårnet, han interesserede sig også for tilvirkningen af de astronomiske instrumenter. Men planlægning-

gen af selve observatoriet og dets funktioner overlod han til professoren i astronomi, Longomontanus (Christian Sørensen), der tidligere havde arbejdet som assistent for Tycho Brahe på Hven og i Prag. Grundstenen blev nedlagt 7. juli 1637 og tårnet stod færdigt i 1641. Året efter var observatoriet klar til brug. I et skrift fra 1639, hvori Longomontanus beskrev det nye *theatrum astronomicum*, kunne han oplyse Europas astronomer om, at det nye observatorium skulle være »til ære for himlens skaber, den gode og almægtige Gud, og til gavn for alverden.«

Ikke blot er Rundetårn berømt i dag, det var også tilfældet i 1600-tallet, hvor en fransk astronom omkring 1640 priste den endnu ufuldendte observatoriebygning som et større under end Egyptens pyramider og intet mindre end en »hellig trefod«, der ville levere »den astronomiske sandheds gude-svar.« I betragtning af tårnets historiske betydning og den omfattende litteratur, der findes om det, kunne man tro, at der ikke er mere at sige om dets tidlige historie. Men det er der, for visse dele af den etablerede historie trænger til revision, især hvad angår Rundetårns brug af kikkerten som astronomisk instrument. Man kan således i mange fremstillinger læse, at Rundetårn allerede fra sin begyndelse var udstyret med en kikkert. Med skam at melde er det en påstand, jeg selv har været med til at gentage. Jeg er nu ret sikker på, at dette ikke var tilfældet, og at kikkertens indtog i dansk astronomi hører til en langt senere dato.

### Den astronomiske kikkert

I foråret 1610 offentliggjorde Galilei sine første observationer af himlen ved hjælp af den helt nye kikkert. Han viste, at der var høje bjerge på Månen, at Solen havde pletter, at Mælkevejen bestod af stjerner, og at Jupiter var ledsaget af fire måner. Det var en sensation af de store. Den 25-årige Caspar Bartholin, der senere blev en berømt professor



Den danske astronom  
Longomontanus  
(Christian Sørensen)  
(1652-1647).

# kerten

i medicin og teologi, befandt sig netop på den tid i Padova, hvor Galilei var professor. I en afhandling fra 1617 berettede han, hvordan han selv havde haft lejlighed til at betragte nattehimlen med »den højst kunstfærdige galilæiske kikkert.« Men bortset fra, at han nu var overbevist om, at Mælkevejen faktisk bestod af en stor samling stjerner, synes kikkerten ikke at have gjort stort indtryk på ham.

Allerede året efter, at Bartholin havde set gennem kikkerten, var det nye instrument i brug i Danmark. I 1611 brugte Christian IV selv en kikkert til at orientere sig fra mastetoppen af et af sine krigsskibe, da den danske flåde lå uden for Stockholm. I hele perioden fra 1610 til ca. 1660 blev kikkerten fortrinsvist brugt til maritime formål, mens den kun sjældent blev anvendt af astronomerne. Hvis man skal tro den anerkendte amerikanske videnskabshistoriker og renæssanceekspert John Christianson, var Longomontanus dog på et meget tidligt tidspunkt interesseret i kikkerten. I sin med rette berømmede bog *On Tycho's Island* skriver han nemlig, at ved et møde i konsistorium den 21. juni 1610 »modtog Longomontanus en bevilling fra universitetet til at bygge en kikkert med nogle linser.« Det ville have været højst bemærkelsesværdigt, hvis en dansk astronom så tidligt havde lavet en kikkert eller blot forsøgt at lave en.

Christianson bygger sin påstand (der vist ikke er blevet bemærket før) på aktstykker fra et møde i konsistorium den nævnte dato. Det viser sig dog, at dette aktstykke blot nævner, at Longomontanus ønskede »at hannem maatte blive noget bevilliget til at bygge en Speculam til sin astronomiske Brug udi sin tilkommende Residens«, og at ønsket blev imødekommet ved tildeling af 10 daler. Der nævnes intet om et instrument med linser, sådan som hævdede af Christianson. Det latinske "speculum" havde i 1600-tallet ikke nogen bestemt betydning,



*Turris fortissima nomen JEHORÆ: Ad eam curret  
justus: Et in munito editoq' loco collocabitur.  
Proverb. xviii. vers. x. H.A. Grijs, sculp. 1657.*

men kunne henvise til et spejl eller metallisk instrument. Der er ingen grund til at tro, at Longomontanus havde en kikkert i tankerne, eller at han nogen sinde har haft en sådan, endsi det at han har brugt en kikkert til observationer. Ikke desto mindre er det, hvad man kan læse i flere beskrivelser.

Rundetårn. Kobberstik fra 1657.

## Ikke et vigtigt instrument

Longomontanus var naturligvis bekendt med kikkerten, som han bl.a. nævner i sit storværk *Astronomia Danica* fra 1622 og også i sit skrift fra 1639 om observatoriet på Rundetårn. Men selv om han var imponeret af Galileis "optiske rør," så havde han ingen tiltro til det som astronomisk instrument. Som han skriver, så har kikkerten »ikke haft så meget at betyde med hensyn til astronomiens fremskridt.« Det lyder måske sært, men omkring 1640 var kikkerten endnu ikke egnet til positionsastronomi og andre af den klassiske astronomis formål. Den tidlige kikkert var ikke et måle- men et forstørrelsesinstrument, der kunne bruges til at opdage ting i himlen med,



To af Galileis første kikkert, der i dag opbevares på Museo Galileo i Firenze.

og de fleste af disse opdagelser havde Galilei allerede gjort. Hertil kom, at kikkerten ikke kunne afgøre striden mellem det kopernikanske og det tychoniske verdensbillede. Longomontanus var tilhænger af sidstnævnte, hvor Solen drejer omkring Jorden og de øvrige planeter omkring Solen, og han vidste, at observationer i planetsystemet ikke kunne skelne mellem de to systemer.

Set ud fra Longomontanus' synspunkt var der således ingen videnskabelige grunde til at udstyre det nye observatorium med en kikkert, hvad han altså heller ikke gjorde. Han stod ikke alene med sit synspunkt. Også universitetsobservatoriet i Leiden var kun udstyret med klassiske sigteinstrumenter, og det samme var tilfældet med det observatorium, der blev oprettet i Utrecht i 1642. Først i 1655 blev dets sekstant suppleret med en kikkert.

### En anonym astronom

I 1937 fejrede man 300-året for starten på Rundetårn og i den anledning blev der udfærdiget et værdifuldt mindeskrift om tårnet og dets funktion som astronomisk observatorium. Forfatteren Andreas Nissen slår her fast, at »Den første astronomiske kikkert bragte ... Jørgen From 1642 her til landet. Den var bestemt til Rundetårns observatorium og forstørrede 100 gange.« Samme påstand kan findes i andre og nyere kilder, herunder bind 1 af *Dansk Naturvidenskabs Historie*, hvor forfatteren (en vis Helge Kragh) skriver, at »observatoriet på Rundetårns platform blev allerede i 1643 forsynet med en astronomisk kikkert hjembragt af Jørgen From.« Den nævnte Jørgen From, i latiniseret form Georgius Frommius, er en lidet kendt og noget perifer skikkelse i dansk videnskabshistorie, om end på ingen måde uinteressant. Han var elev af Longomontanus og overtog efter hans død i 1647 professoratet i astronomi og dermed også ledelsen af observatoriet, men uden at han i øvrigt bidrog til den astronomiske videnskab. Da han allerede døde i 1651, var hans betydning begrænset. Hvis han overhovedet nævnes, er det i forbindelse med kikkerten på Rundetårn.

### Jørgen Froms kikkert

Hvorfra stammer Nissens og andre forfatters påstand? Det viser sig, at den kan spores tilbage til 1784, hvor den fremtrædende danske astronom og geodæt Thomas Bugge i en historisk beskrivelse af Rundetårn beretter, at »From medbragte ved hjemkomsten fra England en dioptrisk kikkert bestemt for Københavns observatorium ... [der] gjorde objekter 100 gange større.« Som kilde citerer Bugge skriftet *Dissertatio astronomica*, som From udgav i 1642, og hvori informationen skulle stå på side 56. Allerede her er der grund til en vis skepsis, da disputatsen fra 1642 er uden nummerering af siderne. Som først fremhævet af astronomen Georg Ursin i en bog fra 1826, er Bugges gengivelse af originalkilden noget fordrejet. Spørgsmålet kan kun afgøres ved at sammenligne med, hvad From faktisk siger i *Dissertatio astronomica*:

»Jeg har ofte hengivet mig til den øvelse at betragte objekter gennem røret, og jeg besidder et rør af en sådan kvalitet, at objekter forøges næsten hundrede gange, hvilket giver et glimt af alle disse ting, der viste sig for den berømmelige Galileo Galilei om planeten Jupiter, pletter på Solen ligesom på Månen, Venus' forskellige faser, og lignende ting fra nuværende kikkertobservationer.«

Der er altså intet i denne kilde, der henviser til observatoriet på Rundetårn og heller intet om kikkertens herkomst eller konstruktion. From var i årene 1636-38 faktisk på en studierejse til Holland, Frankrig og England, og det er ikke umuligt, at han kan have medbragt en kikkert fra Eng-

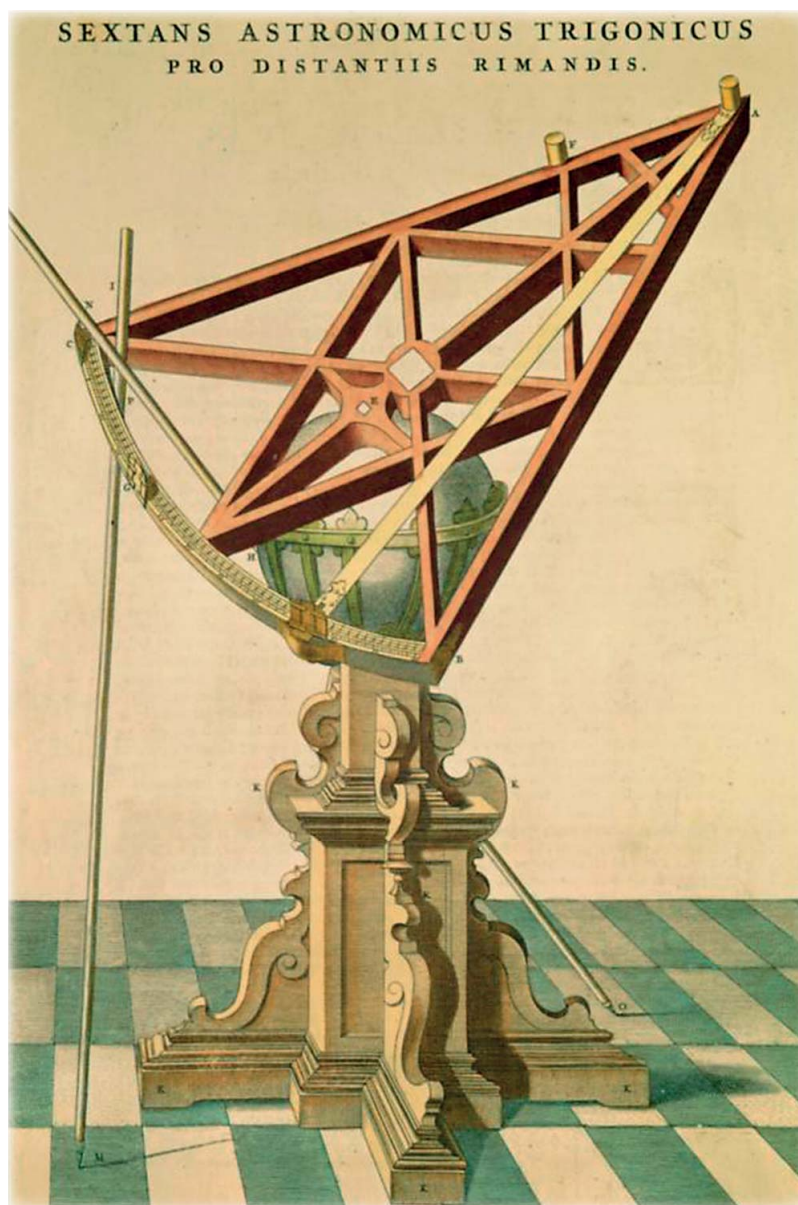
land, som Bugge skriver. Men da der ingen dokumentation er for det, er det blot et gæt. From korresponderede under sin rejse med Longomontanus, og hverken i denne brevvæksling eller i *Dissertatio* er der belæg for Bugges påstand. Det samme gælder påstanden om, at kikkerten var beregnet til Rundetårn.

Til gengæld ved vi altså, at From var i besiddelse af en kikkert og havde brugt den til astronomiske observationer. Så vidt vides, er han den første danske astronom, der har brugt kikkerten til astronomiske formål. Allerede nogle år tidligere, mens han befandt sig i Leiden, stiftede han bekendtskab med "Galileis rør," sådan som vides fra et brev, han skrev til Longomontanus i 1638, og hvori han fortæller om sine observationer. Den pågældende kikkert har muligvis været en, han selv har anskaffet sig, for der var endnu ikke nogen kikkert tilknyttet observatoriet i Leiden. Det er også muligt, at den kikkert, han nævner i brevet til Longomontanus, er den samme, som han i 1642 omtaler som sin egen. Vi ved det ikke.

### Rundetårns første kikkert?

Den oprindelige instrumentbestand på Rundetårn stammede i det væsentlige fra Longomontanus og var begrænset til klassiske sigteinstrumenter af den type, Tycho Brahe havde brugt. Der var en sekstant, en oktant og også en azimutalkvadrant lavet af messing. Hertil kom senere Tychos store og vidt berømte himmelglobus, der i 1632 havde fundet vej til Rosenborg og i 1656 blev anbragt i Rundetårn. Derimod optræder der ingen kikkert i de ældst kendte instrumentfortegnelser. Først i en fortegnelse fra 1686 lavet af klokkeren ved Trinitatis Kirke, Matthis Sørensen, nævnes en kikkert, nemlig »1 Tubus hans Høiyværdighed Biskoppen Doct. Hans Bagger [har] foræret.« Det er alt. Det af Frederik III oprettede museum eller kongelige kunstkammer indeholdt et "matematisk kammer" med bl.a. videnskabelige instrumenter. Af en fortegnelse udarbejdet i 1674 fremgår det, at det indeholdt flere astrolabier og kvadranter til astronomisk brug, og desuden fem "optiske rør." Arten af disse kikkerter fremgår ikke, men der har formentligt været tale om land- og søkikkerter og ikke kikkerter beregnet til observationer af himlen.

I 1728 brændte en stor del af København, og mange bøger og optegnelser fra Rundetårn blev flammernes bytte. Man kan derfor ikke regne med, at eksisterende kilder fortæller hele historien om tårnets instrumenter. Selv med dette forbehold synes det dog klart, at kikkerten ikke har været brugt i de første 30-40 år af observatoriets historie. Faktisk kendes ikke til nogen form for astronomiske observationer fra det nye tårn foretaget af Longomontanus eller From. Den første kendte observation er af en måneformørkelse den 13. marts 1653, og



Tycho Brahes sekstant fra 1582. I 1607 fik Longomontanus forfærdiget et lignende instrument, der omkring 1642 blev anbragt i Rundetårn.

den blev foretaget med traditionelle instrumenter. Det var først med Rasmus Bartholin i 1660'erne, at systematiske målinger så småt blev en del af observatoriets program, og vi har endda ingen viden om, hvorvidt disse omfattede observationer med en kikkert.

Meget tyder på, at kikkerten først vandt indpas, efter at Ole Rømer var blevet direktør for observatoriet i 1685. Hvis dette er rigtigt, så var Rundetårn på ingen måde innovativt, men heller ikke håbløst umoderne. Udviklingen må sammenholdes med den øvrige udvikling i Europa, hvor brugen af den astronomiske kikkert også først slog igennem på et sent tidspunkt. Gennembruddet var på mange måder det berømte observatorium, der blev oprettet i Paris i 1671, og det ikke mindre berømte observatorium i Greenwich, der stammer fra 1675. ■

### Videre læsning

Claus Thykier m.fl. (1900): Dansk Astronomi Gennem Firehundrede År (København: Rhodos)

Andreas Nissen m.fl. (1937): Rundetårn 1637-1937 (København: Levin & Munksgaard)

Helge Kragh (2014): Jørgen From (1605-1651). Et Billede fra Dansk Astronomi- og Lærdomshistorie. [www.css.au.dk/reposs](http://www.css.au.dk/reposs)

## BOGANMELDELSE

# Invitation til matematikkens videnskabsteori

Anmeldt af Vagn Lundsgaard Hansen, professor emeritus, Danmarks Tekniske Universitet, vlha@dtu.dk



Matematik indtager en særlig stilling i videnskaberne som en universelt anvendelig metode til erkendelse, der er udviklet og kultiveret igennem årtusinder. Matematik har sin egen abstrakte ideverden af begreber, som med forbløffende styrke giver mennesket redskaber til at forstå og håndtere den konkrete omverden. Det er ikke sært, at faget overalt i verden indtager en central plads i uddannelsessystemet. En bog på dansk om faget matematik set fra et videnskabsteoretisk synspunkt må derfor hilses velkommen.

I *Invitation til Matematikkens Videnskabsteori* giver filosofen Mikkel Willum Hansen og matematikeren Henrik Kragh Sørensen en særdeles læsbar introduktion til en række af de væsentligste erkendelsesteoretiske, sociologiske og etiske aspekter af de matematiske videnskaber.

For at forstå alle detaljer i bogen kræves et begynderniveau i matematik svarende til første år af et universitetsstudium i faget. Store dele af bogen kan imidlertid ubesværet, og med stort udbytte, også læses af studerende i andre fag, for her er en bog, hvor de almene begreber fra videnskabsteori er gennemgået i tilstrækkelig detalje til, at man ikke behøver at sidde med en ordbog i hånden for at trænge ind i det videnskabsteoretiske vokalium.

## Respekt for matematikkens filosofi

Bogen er struktureret i tre temaer. Del I: *Matematikkens grundlag som filosofisk problem*; Del II: *Matematikkens udvikling og praksis*; Del III: *Matematikkens sociale organisering og samfundsansvar*.

Del I giver en meget fin introduktion til de forskellige filosofiske opfattelser af matematik. Er matematik en platonisk ideverden? – som de fleste matematikere er betaget af – eller er matematik i virkeligheden erfaringsbaseret (empirisme)? Er matematik konstruktivistisk opbygget – som Kant opfattede det? Bl.a. sådanne spørgsmål gives der gode svar til.

I Del I finder man også en meget fin gennemgang af de problemer, der blev opdaget i matematikkens filosofiske grundlag i begyndelsen af 1900-tallet. Nærværende anmelder vil her bekende, at han – nok som de fleste yngre matematikere – i starten af sin karriere havde

travlt med at bevise nye resultater og ikke keredede sig om sådanne spørgsmål. Men så en nat i 1970 vågnede jeg brat op, da jeg i et mareridt faldt ud af sengen, fordi jeg i en drøm om et nyt bevis var løbet ind i et anskueligt problem, hvor jeg aldrig blev færdig med en matematisk konstruktion. Problemet berørte meget direkte matematikkens grundlag. Først et par dage senere fik jeg efter rysten og bæven klarlagt mit matematiske mareridt, da jeg indså, at min konstruktion afhang af et grundlæggende aksiom i mængdelæren (udvalgsaksiomet). Derefter havde jeg respekt for matematikkens filosofi og dermed også senere videnskabsteori.

## En bog man bliver klogere af

Del II beskriver, hvordan professionelle matematikere arbejder med problemstillinger og matematiske beviser. Hvordan laver man beviser? Og hvorfor laver man beviser? Sådanne spørgsmål besvares på glimrende vis. Der er en god og afbalanceret diskussion af computerens rolle i bevisførelse, herunder spørgsmålet om matematikersamfundet vil acceptere beviser, der kun kan gennemføres ved brug af computere? Mange matematikere tror, at vi om føje tid når dertil. Men der er næppe tvivl om, at renlivede matematikere også i fremtiden vil efterspørge og værdsætte elegante beviser, dvs. gennemskuelige beviser, der "forklarer" resultaterne, der bevises.

I Del III kommer forfatterne ind på en række fundamentale spørgsmål i tilknytning til anvendelsen af matematiske modeller i samfundet, herunder matematikeres ansvar i forbindelse med anvendelsen af matematiske modeller. Da videregående matematik som regel ikke er tilgængelig for lægfolk, og da matematiske modeller i fx økonomi lægges til grund for væsentlige beslutninger i samfundet, har matematikerne et særligt stort ansvar for, at de matematiske modeller ikke misbruges. Denne anmelder er meget begejstret for Del III, som slutter med en kort og klar beskrivelse af redelighed og socialt ansvar i den matematiske profession.

*Invitation til Matematikkens Videnskabsteori* er en bog man bliver klogere af uden at blive belært.

Mikkel Willum Johansen og Henrik Kragh Sørensen: *Invitation til matematikkens videnskabsteori*. Samfundslitteratur 2014. 265 sider, 299,- kr. ■

# Folk og fortællinger fra det tabte land

– Storværk om ødelagt- og genopstået natur

Anmeldt af Bent Lauge Madsen

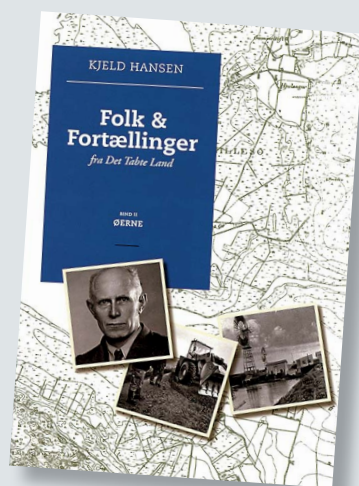
»Thi i intet land er det nemmere at gøre sig jorden underdanig«, skrev vores store beskriver af danskerne i det danske landskab, Achton Friis, i 1933. Også dengang og længe før forandrede vi landskabet for at gøre det dyrkbart.

Det skrev Kjeld Hansen så fremragende om i sin nationale fortælling *Det tabte land* fra 2008, at han fik boghandlernes pris. I den bog samlede han puslespillet. Det har han siden fulgt op med detaljerede beskrivelser af 400 projekters historier – brikkerne i puslespillet – i sit tobindsværk: *Folk og fortællinger fra det tabte land*, hvoraf bind 2 nu er udkommet. Det er fortalt på en måde, der ikke står tilbage for Achton Friis, både hvad omfang (2 bind á over 800 sider) og skrivekunst angår. Hertil et flot grafisk materiale med 350 kort og mere end 2.000 fotografier og tegninger. 10 års intensivt og engageret arbejde i felten, i arkiverne og ved skrivebordet ligger bag de tre værker. Arbejdet er støttet af Aage V Jensens Naturfond.

## Ikke kun en klagesang

Det er spændende læsning. Vi får præsenteret projekt for projekt, fra Fyn alene 68, på en prisværdig og overskuelig måde: En tabel over de vigtigste data, kort af forskellige stadier af historien. Kjeld Hansen fortæller om de politiske og økonomiske kampe, til tider rævestreger, der gjorde projekterne mulige. Deprimerende er det at læse, hvordan stærke særinteresser, uden tanke for den samfundsøkonomiske værdi eller for naturens realiteter, fik gennemtrumfet projekterne. Og det ofte med lokale landmænd som modstandere. Mange af projekterne var urentable. Nogle var så uholdbare, at de indvundne landområder atter blev til vådområde, inden man nåede at dyrke dem. I andre var det en uophørlig, dyr kamp imod den våde natur, der ville tilbage.

Men bogen er ikke kun en klagesang over den svundne natur: Blandet med fortæl-



lingen om kyniske spekulanter fortæller forfatteren begejstret om den rigt varierede natur, som med eller uden vores hjælp er kommet i sporene på landvindingen. Overmåde flot illustreret.

## Oplevelser i den nye natur

Værket er både en inspiration og en vejleder til at opdage denne nye natur. Koordinaterne på de beskrevne lokaliteter er med, så man ender de rigtige steder, når man inspireret af bogen ønsker at tage ud og opleve den nye natur på egen hånd. De fleste steder er der adgang for offentligheden, så vi kan besøge naturområderne. Og adgangen indbyder ofte med rasteplasser, stier, fugletårne og information. Men selv i naturgenopretningen kan kynismen sejre. Som fx i Saltbæk vig, hvor Venstre-miljøministre i det stille fik lirket et par paragraffer med i Naturbeskyttelsesloven, så ejerne kan have herlighederne for sig selv, mens de skatteydere, der har betalt gildet, kan stå uden for ved forbudsskiltet.

*Kjeld Hansen: Folk og fortællinger fra Det Tabte Land. Bind 2: Øerne. Forlaget Bæredygtighed 2014. 800 sider, 590,- kr. Findes også på [www.dettabteland.dk](http://www.dettabteland.dk)* ■



## Natur og Museum - Naturens sexliv

I juni nummeret af Natur og Museum fra Naturhistorisk Museum i Aarhus tager naturvejleder og forfatter Bjørli Lehmann læseren på en rundtur i naturens sexliv. Sex handler om livets fortsættelse, men sex er ikke nødvendigvis den smarteste måde at få udbredt sine gener på. Kloning og jomfrufødsler kan set fra den enkeltes stol være meget smartere, da alle ens gener dermed føres videre. Så hvorfor er sex alligevel så udbredt? Og hvorfor er formering nærmest lig med kønskamp? Det er spørgsmål, der undersøges i dette hæfte.

*Natur og Museum nr. 2/2014. 36 sider, 60,- kr. + forsendelse. [www.nathist.dk](http://www.nathist.dk)*

## 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
- **Elin Møller**, 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
- **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
- **Svend Thaning**, Københavns Universitet

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

### Ansvarshavende

Kommunikationschef Elin Møller

### 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 2014

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

### Abonnementsservice

Portoservice, Postboks 9490, 9490 Pandrup

Telefonnr.: 70 25 55 12

e-post: aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Eller via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Layout og illustration: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S

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

Oplag: 8.400

### Omslag:

Foto: Colourbox.



## Fagpanel

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

- **Katrine Krogh Andersen, ph.d.**, forsknings- og udviklingschef, Danmarks Meteorologiske Institut
- **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., bibliotekschef, Syddansk 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
- **Palle Høj Jakobsen**, direktør, leder af R&D Academic Relations, Novo Nordisk A/S
- **Vagn Lundsgaard Hansen**, professor, Inst. for matematik, Danmarks Tekniske Universitet
- **Peter K.A. Jensen**, adm. overlæge, Klinisk genetisk Afdeling, Aarhus Universitetshospital
- **Mikkel Willum Johansen**, adjunkt i de matematiske fags videnskabsteori, Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet
- **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, Glaciology and Climate Change Laboratory, Center for Scientific Studies/Centro de Estudios Científicos (CECs), Chile
- **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.
- **Carl-Erik Sølberg**, civilingeniør, Institut for Fysik, Aalborg Universitet.

GRUNDFOS



## Tilbud

**Intropakken – en oplagt gaveide**

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

Bestil via [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)  
 red@aktuelnaturvidenskab.dk  
 eller på tlf. 70 25 55 12.

## Abonnementsservice

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

**Kontakt abonnementsservice på**

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

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

**Husk at melde flytning til ny adresse.**

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

## Adgang til pdf-udgave

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

**Brugernavn:** aktuelnr4

**Kodeord:** yxh18efr

Du logger på via hjemmesiden: [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk) hvor du vælger punktet "Nyeste numre" (4-2014). Herefter kan du logge på i højre side.

## Tilbud til gymnasieskolen



Foto: Lars Kruse

# Ny inspiration til din undervisning?

Er du faglærer i naturvidenskab og teknik kan du få ny inspiration gennem *Aktuel Naturvidenskab*. Tidsskriftet er fyldt med dybdegående artikler skrevet af forskerne selv og udkommer seks gange om året.

- Din skole kan tegne et skoleabonnement med gode rabatter, så hele lærergruppen kan læse bladet.
- Et abonnement giver også adgang til alle artikler fra de tidligere numre.
- Der er mange eksempler på hvordan du kan bruge materialet i undervisningen.
- Helt oplagt i forbindelse med større skriftlige opgaver og temaundervisning.

## Se mere på: [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)

Her finder du et komplet artikelarkiv samt undervisningsmateriale til flere artikler

**Priseksempel**

Årsabonnement med 6 numre:  
 Pakke leveret til dit gymnasium med 20 numre koster 950 kr. inkl. fragt

Se flere tilbud på:  
<http://aktuelnaturvidenskab.dk/abonnement/>

# Smag på naturvidenskaben

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

”Kan du smage det her? Ja? Så kan du ikke være min søn!”

Måske virker ovenstående ordveksling ikke særlig realistisk i en situation, hvor man skal afgøre slægtskabsforhold. Men ideen er slet ikke så åndssvag, som den umiddelbart lyder. Det blev Ole G. Mouritsen og Per Lyngs Hansen gjort opmærksom på af en opvakt elev, da de demonstrerede den forunderlige forskel på, hvad vi mennesker kan smage for en gruppe gymnasieelever.

Mere konkret var det bitterstoffet PROP (propylthiouracil), som de to forskere fra Syddansk Universitet udsatte gymnasieeleverne for. Det har nemlig vist sig, at ca. 25 % af befolkningen næsten ikke kan smage dette stof, mens 25 % reagerer ved at ”udvise en stærk ubehagsreaktion”. Den resterende halvdel ligger så at sige midt imellem.

## Supersmagere og smagsblinde

De 25 %, der ikke kan smage bitterstoffet, er hvad man kalder ”smagsblinde”, men dem, der reagerer meget stærkt på det omvendt er ”supersmagere”. Sandsynligvis hænger denne forskel på evnen til at smage sammen med et forøget antal smagsreceptorer hos supersmagere og er genetisk bestemt. Man kan altså ikke bare træne sig op til at blive supersmager, hvis man skulle ønske det – det er en evne, der nedarves på samme måde som øjenfarve eller evnen til at kunne slå krølle på sin tunge.

Populært sagt ved man nu, at der findes et ”supersmager-gen”, der forekommer i en dominant og vigende udgave. Hvis man er supersmager, har man to kopier af den dominante supersmager-variant, mens man er smagsblind, hvis man har to kopier af den vigende variant.

»Da vi præsenterede eleverne for den information var det så, at den opvakte gymnasieelev udtænkte en hurtig slægtskabstest: Hvis man selv er supersmager, og begge ens forældre er smagsblinde, er der et eller andet galt!«, fortæller de to forskere.

## Ni retter til hele klassen

At bruge smag og viden om mad som løftestang til at skærpe interessen for naturvidenskab hos børn og unge er netop én af ideerne bag det nye landsdækkende formidlingscenter *SmagForLivet*, som støttes af Nordea-fonden med 38 mio. kr. I samarbejde med bl.a. STX- og HTX-uddannelser vil Ole G. Mouritsen og Per Lyngs Hansen bruge mad og smag til at bære naturvidenskab ind i ungdomsuddannelserne på en konkret og vedkommende måde.

»Vi har allerede opmuntrende erfaringer med flere forskellige hold af gymnasieelever i et køkkenlaboratorium med en fast dagsorden: at lave et måltid med ni retter til hele klassen«, siger de. »Mens råvarer undersø-



Der kokkereres på livet løs i gastrolab.

Foto: Ole G. Mouritsen

ges og behandles, der kokkereres, og der smages, lærer eleverne om sensorik (grundsmage, smagsreceptorer og smagssynergier), den fysiske kemi af komplekse væsker og emulsioner (mayonnaise, vinaigrette, hollandaise, rouille), geler (gelatine og hydrogeler), molekylære kræfter, kvantitativ dataanalyse, fysiske enheder, osv. – og undervejs får de ejerskab til smagen. Eleverne er stolte, når de om aftenen præsenterer deres retter for hinanden og forklarer om smag og tekstur af retterne.

## Gastrofysik vinder frem

De to forskere kalder deres tilgang for *gastrofysik* som en ny måde at integrere læring i forskellige naturfag, hvor interessen for mad og smag bruges som motor til at skabe interesse og nysgerrighed hos unge.

Det nye tiltag med at bringe gastrofysik og tværfaglige tilgangsvinkler ind i ungdomsuddannelserne får fremover en bredere basis at stå på, idet der med den nye Folkeskolereform netop er indført et nyt skolefag *Madkundskab*. I beskrivelsen af faget står det helt klart, at det ikke ”bare” drejer sig om madlavning, men også om madens og madlavningens fysik og kemi – ja vendingen ”gastrofysik og eksperimentelle arbejdsformer” er endda eksplicit nævnt i fagbeskrivelsen af 7. klasses valgfag i madkundskab.

»Vores vision er, at et fokus på gastrofysik både kan skabe fornyet interesse for naturvidenskab og give kommende generationer et bedre grundlag af viden til at træffe kvalificerede valg af fødevarer. Med andre ord at smage på naturvidenskaben«, slutter Ole G. Mouritsen og Per Lyngs Hansen.

Videre læsning: [smagforlivet.dk](http://smagforlivet.dk) ■