

Aktuel NATURVIDENSKAB

6 | DECEMBER | 2013

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00



Tema: Naturvidenskab i arkæologien

Fremtidens optiske skærm

Strontium afslører levesteder

Abelprisen 2013



Af Poul Bjerregaard,
professor
Biologisk Institut
Syddansk Universitet
poul@biology.sdu.dk

En liste over rapporter og artikler omtalt i teksten findes på hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk/nyeste-numre/6-2013 → synspunkt

Videnskabelige tidsskrifter som politisk slagmark

Reguleringen af hormonforstyrrende stoffer inden for EU har afstedkommet en bemærkelsesværdig debat i videnskabelige tidsskrifter inden for området.

Den seneste tid har budt på en heftig debat i forskerkredse om, hvordan hormonforstyrrende kemikalier skal håndteres i lovgivningen. Kemikalier med særligt problematiske egenskaber (fx kræftfremkaldende eller mutagene) håndteres i EU's kemikalielovgivning REACH efter særlige regler. Det blev i lovgivningen bestemt, at hormonforstyrrende kemikalier skulle indlemmes i denne kategori. Da loven blev vedtaget i 2006, manglede man imidlertid en klar definition af, hvordan man i regulatorisk eller juridisk forstand definerer termen "hormonforstyrrende stof". Derfor udsatte man fastlæggelsen af, hvordan de hormonforstyrrende stoffer skulle håndteres, til december 2013.

Som forberedelse til dette fik EU-kommissionen udarbejdet en rapport, der opsummerede vor viden om hormonforstyrrende stoffer. Denne udredning blev ledet af professor Andreas Kortenkamp, og rapporten udkom i december 2011. Fremgangsmåden og konklusionerne i rapporten blev i foråret 2012 kritiseret i en artikel i tidsskriftet *Critical Reviews in Toxicology*. Artiklen var delvis finansieret af American Chemical Council, og var forfattet af Lorenz R. Rhomberg og kolleger. Bl.a. syntes forfatterne bedre om den fremgangsmåde, som blev anvendt, da et internationalt kollegium af eksperter over flere år udarbejdede en rapport om hormonforstyrrende stoffer fra 2002 i regi af WHO/ International Programme for Chemical Safety (IPCS). Denne rapport var imidlertid på det tidspunkt ved at blive opdateret af FN's miljøprogram (UNEP) og WHO. 16 eksperter – bl.a. Kortenkamp – fra 4 kontinenter havde det primære ansvar for udarbejdelsen af den opdaterede rapport, som udkom i februar 2013. Konklusionerne i denne afveg ikke væsentligt fra Kortenkamp-rapportens.

Usædvanlig reaktion

At den kemiske industri ikke bifalder interessen for hormonforstyrrende stoffer, ses af det klagebrev, som ICCA (International Council of Chemical Associations) sendte til direktøren for UNEP efter offentliggørelsen af UNEP/WHO-rapporten. Det anførtes, at rapporten »has raised some serious irritation in our industry«, men rapportens forfattere kunne forholdsvis let afvise ICCA's 7 klagepunkter som værende uden egentlig substans.

Med baggrund i Kortenkamps rapport nedsatte kommissionen et ekspertudvalg, der skulle rådgive kommissionen om de kriterier, man skulle lægge til grund for definitionen af "hormonforstyrrende stoffer". NGO'er og den kemiske industri var også repræsenteret i udvalget. Rapporten blev udformet af medarbejdere fra EU's Joint Research Centre og udkom i marts 2013. Rapportens råd til udformningen af kriterierne for hormonforstyrrende stoffer bygger på definitionen fra WHO/IPCS, hvor tre krav skal opfyldes: 1) kemikalier skal virke via en endokrin mekanisme,

2) der skal være en skadevirkning, og 3) der skal være en plausibel forbindelse mellem skadevirkningen og den endokrine mekanisme. I rapporten diskuteres en række aspekter, der er relevante for hormonforstyrrende stoffer, og rapporten giver nogle forslag til hvilke testsystemer, der kan give resultater, der entydigt definerer et kemikalie som hormonforstyrrende.

Udsigten til EU-kommissionens fastsættelse af kriterier for definition af hormonforstyrrende stoffer fik – helt usædvanligt – 18 redaktører og medredaktører for især humantoksikologiske og farmakologiske videnskabelige tidsskrifter til i juli at gå sammen om et åbent brev til EU-kommissionen. Heri beskyldte forfattergruppen med toksikologen Daniel Dietrich i spidsen fortalere for regulering af de hormonforstyrrende stoffer for at »tilsidesætte sund fornuft og veletableret videnskab«. Brevet blev bragt på bl.a. lederplads i 14 forskellige tidsskrifter.

En bevidst strategi

Dietrichs indlæg blev sidst i august kraftigt imødegået af bl.a. gruppen af forfatterne til UNEP/WHO-rapporten i tidsskriftet *Environmental Health*. I samme nummer stillede tidsskriftets redaktører i en leder spørgsmål ved de 18 toksikologi-redaktørers bånd til den kemiske industri. Et par måneder blev en endnu stærkere reaktion på Dietrichs åbne brev bragt i tidsskriftet *Endocrinology* - forfattet af 20 hoved- og 28 medredaktører af hovedsageligt endokrine og neuroendokrine videnskabelige tidsskrifter.

Dietrich og medforfatteres kommentar ser ud til at være et led i en bevidst strategi fra enkeltpersoners og organisationers side på at forsøge at forhindre regulering af de hormonforstyrrende stoffer. Strategien ser desværre ud til have en vis succes: EU-kommissionen har foreløbig udsat afgørelsen om håndteringen af de hormonforstyrrende stoffer et år. Hvilken rolle de 18 toksikologi- og farmakologiredaktørers kommentar spiller for dette, vides dog ikke.

Senest har EU-kommissionens Chief Scientific Adviser, Anne Clover, afholdt et møde med repræsentanter for de to fløje. Ifølge mødereferatet har de tre repræsentanter for medunderskriverne på Dietrich og medforfatteres åbne brev trukket markant i land på deres oprindelige kritik.

Det er min opfattelse, at Dietrich og medforfatteres kommentar er fuld af fejl og/eller bevidste fejlslætninger af rapporten fra Joint Research Centre. Dietrichs kommentar er ikke ordentligt forankret i vor viden om hormoners egenskaber og virkninger, og den ignorerer betydende dele af den videnskabelige litteratur, der viser, at hormonforstyrrende stoffer og blandinger heraf kan virke ind på den korrekte kønsudvikling. ■



7 - 43

TEMA:
**Naturvidenskab
i arkæologien:**

Kan fortiden måles?

I dag er naturvidenskabelige undersøgelser af arkæologisk materiale en naturlig del af arkæologien. Også i arkæologiens spæde barndom for 150 år siden var naturvidenskaben en fast legekammerat. I mellem-tiden har venskabet dog været udsat for svære prøvelser.

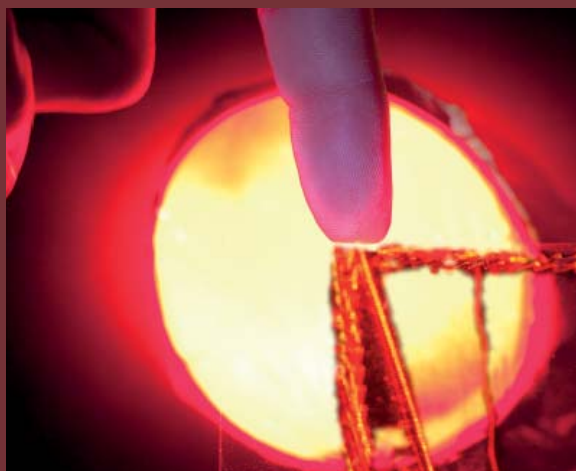
Indhold

FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
Kan fortiden måles?	7
Kampen mod pæleorm	14
Strontium afslører levesteder	18
Magnetisk kortlægning - finder gammel afrikansk jernindustri	24
Mørteldatering og kirkearkæologi	30
DNA-detektiv løser fortidens gåder	36
Hvad er der i vejen med forhistorien?	40
Morgendagens skærm er optisk	44

PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: Videnskabelige tidsskrifter som politisk slagmark.....	2
Abelpris til Pierre Deligne for banebrydende matematisk rapsodi om de algebraiske ligningers geometri	47
Bagsiden: Robot på catwalken.....	52

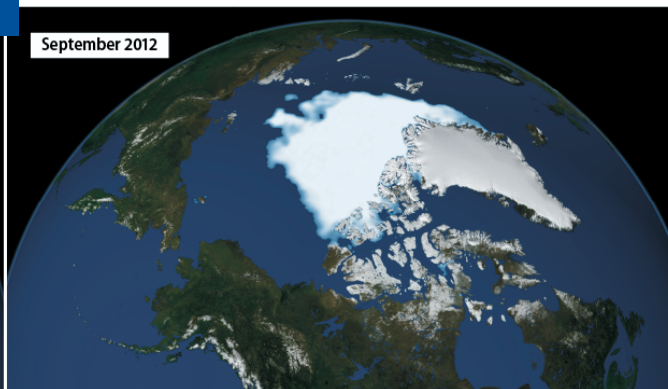
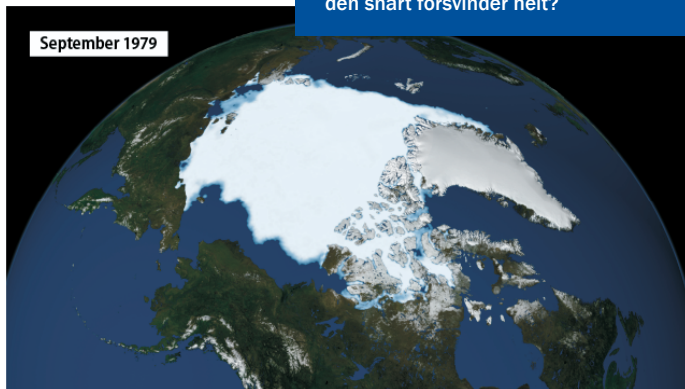


44

Morgendagens skærm er optisk

Forskere ved DTU har udviklet en ny type touch-skærm der er styret af optisk teknologi. Den er billigere at producere og på flere punkter bedre end de skærme vi kender fra smartphones og tablets – bl.a. kan den også fungere under vand.

Havisen i Arktis udviser enorme, klimarelaterede udsving, men risikerer vi, at den snart forsvinder helt?



Gråfik NASA.

Forskere vil forstå samspilsramt is i Arktis

Et stort dansk/norsk forskningsprojekt, Ice2Ice, skal nu kigge nærmere på de klimaskift under istiden, hvor havisen pludselig forsvandt. Det skal være med til at afklare, om disse hændelser er relevante for fremtidens klima. Projektet har deltagelse fra DMI, Bjerknescentret i Bergen samt Center for Is og Klima på Niels Bohr Institutet ved Københavns Universitet, og det har netop opnået en bevilling fra det Europæiske forskningsråd (ERC) på 12.500.000€.

Ice2Ice er delt i fire team, hvor forskerne vil udbore og undersøge nye iskerner fra gletsjere på Grønlands østkyst, hente nye borekerner fra havbunden, udvikle detaljerede modelsimuleringer af klimaet på Grønland og indlandsisen samt studere stabiliteten af havisen i Arktis. Tilsammen skal de fire team, afdække mekanismerne, når

den arktiske havis pludselig forsvinder og forstå de bratte ændringer, der har fundet sted i fortiden.

I øjeblikket er den arktiske havis under stærk forandring. Udbredelsen af permanent havis i Arktis er således blevet 30-50 % mindre igennem de seneste 35 år. Et godt spørgsmål er derfor, om den arktiske havis i en fremtid med global opvarmning vil forsvinde gradvist, eller om den pludselig kollapsede, som den gjorde gentagende gange under sidste istid. Udbredelsen af havisen er afgørende for klimaet på det meste af den nordlige halvkugle og helt essentiel, hvis man skal forudsige fremtiden for Grønlands Indlandsis – et andet hovedpunkt i Ice2Ice.

Niels Hansen, DMI

Huden taler med leveren

Stofskiftet i leveren påvirkes af, hvad der foregår i huden. Det har forskere fra Syddansk Universitet for nylig opdaget. Forskerne mener, at opdagelsen kan få betydning for forståelsen af, hvordan hudsygdomme kan påvirke resten af kroppen. Egentlig var forskerne, professor Susanne Mandrup, professor Nils Færgeman og Ditte Nees samt kolleger ved Institut for Biokemi og Molekylær Biologi, i gang med at undersøge noget helt andet, da de gjorde den banebrydende opdagelse, at huden (som er kroppens største organ) populært sagt kan "tale" med leveren. Deres resultater offentliggøres nu i tidskriftet *Cell Report*.

Forskerne observerede fænomenet hos såkaldte knock-out-mus, hvor et bestemt fedtbindende protein er fjernet (knocked out). Knock-out-musene havde en sært fedtet og pjusket pels, og de havde svært ved at blive vænnet fra at die ved deres mor. I fravænningsperioden tog de mindre på i vægt og var i det hele taget nogle små skravl. Samti-

dig viste analyser, at musene ophobede fedt i leveren i fravænningsperioden.

Da forskerne kiggede nærmere på huden på de pjuskede og skrantede mus, kunne de konstatere, at musene havde en "utæt hud" og derved mistede mere vand over huden end normale mus. Når musene mister vand, mister de også varme. Forskerne satte sig derfor for at undersøge om dette vand- og varmetab kunne være grunden til, at musene ophobede fedt i leveren og havde det dårligt ved fravænningen fra deres mor.

For at afklare dette, lavede forskerne nogle mus, der kun manglede det fedtbindende protein i huden. Disse mus havde det ligeledes svært i forbindelse med fravænningen, og de ophobede også fedt i leveren. Det viser, at manglen på det fedtbindende protein i huden ikke blot var årsagen til musenes kuldeproblemer, men også til, at de ophobede fedt i leveren.

Birgitte Svennevig, SDU



Foto: Birgitte Svennevig.

Forskere (her Ditte Nees) smurte musene ind i latex for at lukke for hudens fordampning af vand og dermed også delvist for varmetabet. Da musene således blev varmeisolerede, holdt de op med at ophobe fedt i leveren.

Mindre risiko for megatsunami

Risikoen for en gigantisk tsunami i kølvandet på enorme jordskred på de kanariske øer er formentlig ikke så stor, som nogle forskere hidtil har frygtet. Teorien om en potentiel "megatsunami" har udgangspunkt i vulkanen Cumbre Vieja på La Palma, hvor en stor sprække åbnede sig på den østlige side af toppen efter seneste udbrud i 1949. Som et resultat heraf er hele den vestlige halvdel af vulkanen gledet ca. 2 m nedad og 1 meter nærmere Atlanterhavet. Forskere har beregnet at skulle hele denne side af vulkanen rive sig løs og plumpe i havet i forbindelse med et nyt udbrud, vil det generere end kæmpebølge, der vil kunne rasere Atlanterhavskysterne i USA, Sydamerika, Afrika og Europa.

Forskere fra National Oceanography Centre i Storbritannien har nu undersøgt de sidste 1,5 million års regionale "skredhistorie" ved de Kanariske øer. De har kigget på såkaldte turbidit-aflejringer, der dannes, når materialet fra skredet blandes med havvand i en turbulent strøm. Sådanne strømme kan bevæge sig flere hundrede kilometer væk fra det område, hvor skredet sker.



La Palma med vulkanen Cumbre Vieja. Øen er set fra nordvest fra den Internationale Rumstation (ISS).

Foto: NASA.

I alt fandt forskerne spor af 8 begivenheder med store jordskred. Aflejringerne viste, at disse alle var sket i stadier med flere mindre skred fremfor et enkeltstående, kæmpe-skred. Undersøgelsen viste også, at vulkanudbrud formentlig er forudsætningen for, at disse skred sker.

Resultaterne udelukker selvfølgelig ikke, at en fremtidig hændelse vil kunne ske som et enkelt enormt skred. Men historien taler for, at dynamikken af skred på de Kanariske øer generelt er mere fredelig.

CRK, Kilde: *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 14, 2100-2123.

Bedre jordbær med bier



Jordbær bliver bedre, hvis de bestøves af bier end hvis de bestøves med vinden eller selvbestøver.

Foto: Colourbox

Bier hjælper ikke bare planter til at sætte frugt – de forbedrer også kvaliteten af frugten, i hvert fald hvad angår jordbær. Det viser et nyt studie af Björn Klatt fra universitetet i Göttingen. Jordbærplante kan selvbestøve eller bestøves af vind eller bier. Forskerne lavede forsøg, hvor de dyrkede jordbær, som blev afskærmet for bi- og vindbestøvning ved hjælp af en plastikdug, eller med et fint net, der kun skjærmede planterne for bier. Forskerne fandt, at jordbær, der var bestøvet af bier på en række områder havde en højere kvalitet end jordbær, der var selvbestøvet eller bestøvet af vinden. Således var de tungere, mere røde, havde færre deformiteter og længere holdbarhed samt et mere favorabelt forhold mellem sukker og syre. Ifølge forskerne skyldes det, at bestøvning stimulerer produktionen af stoffer i planten, der regulerer væksthormoner. Forskerne mener, at deres resultater burde kunne overføres til en række andre bestøverafhængige afgrøder, og det viser, at bestøvning udgør en hidtil undervurderet faktor for kvaliteten af frugt, som har stor økonomisk betydning.

CRK, Kilde: *Proc. R. Soc. B* <http://doi.org/10.1098/rspb.2013.2988> (2013)



Foto: Hans Jørgen Lyngs Jørgensen

Bananplantage angrebet af svampesydommen Black Sigatoka. Sygdommen ødelægger vævet i bananpalmens blade, hvilket forhindrer planten i at samle tilstrækkelig energi til at sætte store bananklaser.

cere sygdommens skader ved at bruge planteekstrakter og mikroorganismer, der styrker bananpalmens eget forsvar mod svampeangreb.

Det er lektor Hans Jørgen Lyngs Jørgensen og professor David B. Collinge fra Institut for Plante-

og Miljøvidenskab, der i samarbejde med forskere fra Makerere University i Uganda har undersøgt den nye billige metode til

at bekæmpe sygdommen. Planteekstrakterne kan farmerne eksempelvis selv lave, og derfor er det langt billigere for dem end at skulle købe svampemidler.

Forskerne har allerede igennem projekter i Vietnam været med til at sætte fokus på denne alternative metode – kaldet induceret resistens – til at bekæmpe en række plantesygdomme. Det er håbet, at de lovende resultater med Black Sigatoka vil betyde, at metoden også vil kunne blive udbredt i Uganda, hvor op imod halvdelen af den daglige kost kan bestå i produkter baseret på banan.

CRK, Kilde: *Technical Bulletin fra KU og Makerere University.*

Alternativ kur til syge bananer

Banansygdommen Black Sigatoka er et af de mest tabsgivende problemer i bananproduktionen, som utallige mennesker er afhængige af over hele verden. Mange sydamerikanske plantageejere bekæmper denne svampesygdom

ved hyppigt at sprøjte med svampemidler. Den mulighed har fattige afrikanske bønder ikke, og de må derfor ofte se bananhøsten slå fejl. Forskere fra Københavns Universitet har nu vist, at man i stedet for dyre svampemidler kan redu-

Fremtidens svinesti

De fleste danske søer er fikserede i jernbøjler, når de opfostrer deres grise. Det skal være slut nu. Forskere har designet fremtidens svinesti, hvor soen får mulighed for at gå frit og udnytte sit moderinstinkt i stedet for at være fikseret bag jernbøjler, når den har faret.

»I vores sti kan grisen vende sig, og gulvet er indrettet med gulvvarme som landmanden kan regulere efter behov. Derudover er der en pattegrisehule, hvor gulvets varme også kan reguleres, så de små grise kan få ekstra varme«, siger lektor Knud Bjørnholt fra Ingeniøruddannelserne på Syddansk Universitet (SDU).

Den væsentligste grund til at fikserer søer, når de farer, er, at de risikerer at lægge sig på deres unger og slå dem ihjel. Den risiko bliver selvfølgelig større, hvis soen kan bevæge sig frit i stien. Men det har forskerne taget højde for ved at indrette stien med en "liggevæg", der er skrå og buer udad, så pattegrisene ikke kommer i klemme. »Grise kan nemlig bedst lide at ligge op ad noget«, forklarer kollegaen Marianne Harbo Frederiksen.

Udover at nytænke soens bolig foreslår forskerne også, at landmanden lader grisene blive i stien, når de er omkring fire uger gamle og i stedet flytter soen. I dag er den normale praksis at flytte grisene, men det kan give vægttab og sygdom, fordi grisene stresses og udsættes

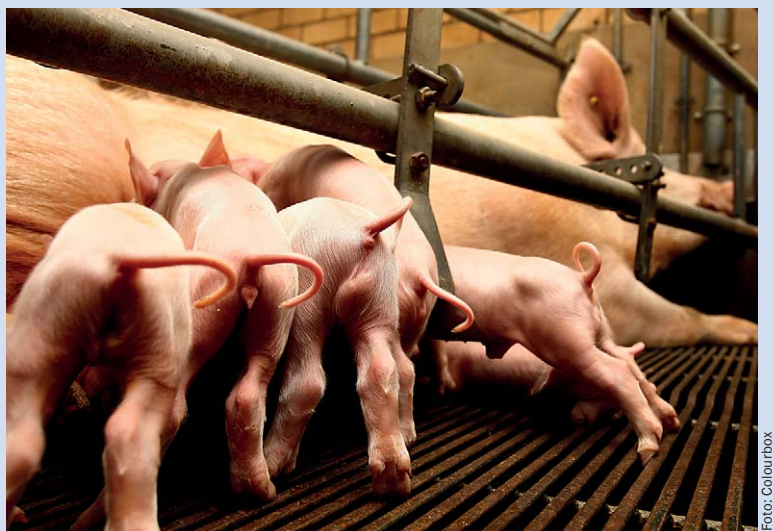


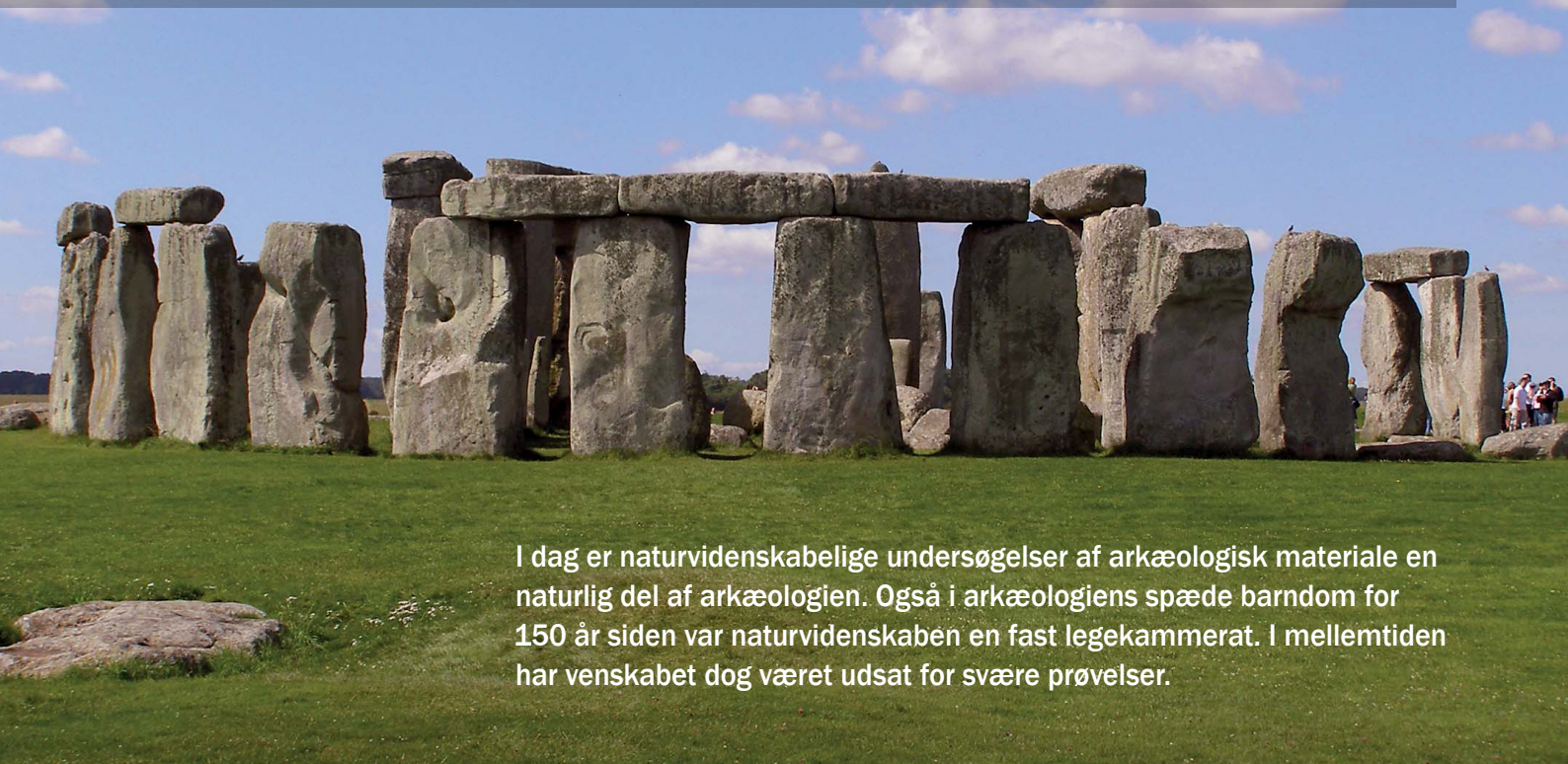
Foto: Colourbox

for nye bakterier ved flytningen. Ved at lade grisene blive kan der spares penge på foder og antibiotika.

Fra politisk side er der stort fokus på at nedbringe antallet af svin, som bliver fikseret i de danske stalde. Siden januar 2013 har det været forbudt at fikserer svin, mens de er drægtige, men når Danmarks omkring en million søer farer og opfostrer deres grise, er de fleste stadig fikseret.

Af Mette Christina Møller Andersen, SDU
www.sdu.dk/Nyheder/NyViden/Alle_artikler/2013/Maj/grise

Kan fortiden måles?



I dag er naturvidenskabelige undersøgelser af arkæologisk materiale en naturlig del af arkæologien. Også i arkæologiens spæde barndom for 150 år siden var naturvidenskaben en fast legekammerat. I mellemtiden har venskabet dog været udsat for svære prøvelser.

Foto: Wikimedia

En helt ny verden åbenbares, da arkæologer begyndte at tage naturvidenskabelige metoder i brug for at datere deres fund. Eller rettere, det var et nyt verdenssyn, som åbenbares. Verden selv blev netop ikke ny. Den blev snarere ældre. Meget ældre. Først blev det med geologiens hjælp klart (for de fleste, i hvert fald), at ikke bare Jorden, men også menneskeheden, var mere end 6.000 år gammel, sådan som Bibelen ellers lod antyde. Under en serie udgravninger i årene 1858-61 fandt franske og engelske videnskabsmænd nemlig fossile rester af uddøde dyr sammen med flinteredskaber i de samme stratigrafiske lag i huler i Sydengland og Frankrig. Dermed var det endeligt dokumenteret, at der havde levet mennesker længe før bibelsk tid.

Og med atomfysikkens hjælp blev det afsløret, at der gennem historien har fandtes kloge og kreative mennesker i alle folkeslag. Det helt store gennembrud kom, da den engelske arkæolog Colin Renfrew i 1967 ved hjælp af kulstof-14-datering kunne påvise, at det engelske stenmonument Stonehenge var ældre end pyramiderne i Egypten.

Gennembrud kan endda forstås helt bogstaveligt. De radiologiske dateringsmetoder virkede som en bulldozer på den kronologi og det verdenssyn, som historikere og arkæologer havde brugt de fore-

gående 70 år på at opbygge. De var nået frem til, at de grundlæggende teknologiske landvindinger som fx metallurgi, hjul, glas, landbrug og arkitektur kun var blevet opfundet én gang i historien i det højt civiliserede Egypten eller Mykene, hvorefter de spredtes ud til resten af verden og erstattede barbariet med civilisationen. Det var også praktisk, fordi man så kunne datere arkæologiske fund relativt i forhold til datoer, man kendte nogenlunde præcist fra egyptisk historie – som fx faraoers regeringstider. Nu viste det sig så, at barbarerne på de britiske øer sagtens kunne selv. Faktisk tyder kulstof-14-dateringer på, at bronzealderen kom tidligere til England end til Mykene. Også i andre Nord- og Vesteuropæiske lande er der fundet monumenter og redskaber, som er ældre end eller lige så gamle som de egyptiske – og produceret lokalt.

Alle civilisationers vugge stod altså ikke i Mellemøsten. Til gengæld stod den moderne arkæologiske vugge i Danmark. Det vender vi tilbage til. Først må vi lige definere, hvad arkæologi er.

Arkæologiens slagmarker

Den britiske arkæolog David L. Clarke (1937-1976) konkluderede et par år før sin død, at »...arkæologi er det fag, som forsyner os med teori og praksis til at uddrage uobserverbare hominide adfærdsmønstre fra indirekte spor i dårlige prøver.«

Om forfatteren



Peter Gammelby er kommunikationspartner og journalist ved AU Kommunikation, Science and Technology, Aarhus Universitet gammelby@science.au.dk

Men så let slipper vi ikke. Blandt arkæologerne er der nemlig vidt forskellige opfattelser af, hvilken teori og praksis, de bør følge. Og sådan har det været, omtrent siden arkæologi begyndte at blive et selvstændigt fag for ca. 150 år siden.

Almindeligvis defineres arkæologi som et studie af tidligere tiders menneskelige aktiviteter ud fra materielle efterladenskaber med det formål at forstå, hvordan og hvorfor menneskers levevilkår og kulturer har ændret sig gennem tiderne. Kultur omfatter i denne sammenhæng bl.a. sociale relationer, magtstrukturer, erhverv, kunst, religion og forholdet til den omgivende natur. Derfor består en væsentlig del af arkæologiens teoretiske fundament af antropologi (læren om mennesket) og sociologi (samfundsvidenskab). Alene dér er der sat vand over til heftige diskussioner – for hvilket emne er mere politisk og filosofisk ladet end netop forholdet mellem mennesker, samfund og natur?

Og som om det ikke var nok med teorierne – så er selve ideen om at basere sin viden på materielle efterladenskaber også omstridt!

Et spørgsmål om fortolkning

Ifølge den såkaldt postprocessuelle arkæologi kan man ikke udlede ret meget af de arkæologiske fund, fordi den enkelte arkæologs fortolkning af fundene uvægerligt vil blive farvet af hans eller hendes egen kulturelle baggrund, fordomme og politiske holdninger.

Postprocessuel arkæologi opstod i England i slutningen af 1970'erne som et oprør mod den processuelle arkæologi, som vi kommer nærmere ind på om et par afsnit. Postprocessuel arkæologi er som udgangspunkt relativistisk, hvilket betyder, at der ikke findes én, men flere sandheder, der alle er lige gyldige, fordi forskellige mennesker opfatter verden forskelligt. Al arkæologi er et spørgsmål om den enkelte persons egen fortolkning af arkæologiske artefakter; figurer på en potte fra vikingetiden har kun den betydning, som arkæologer og andre i eftertiden tillægger dem, for det er umuligt at afgøre, om pottemageren eller pottens daværende ejer tillagde dem samme betydning. På den baggrund konkluderede bl.a. den britiske arkæolog Christopher Tilley, at der ikke er andre måder at vælge mellem alternative fortider på, end ud fra grundlæggende politiske ståsteder.

Det var i øvrigt den samme professor Tilley, som i 1994 vakte opsigt blandt arkæologer ved at introducere fænomenologien i arkæologiske undersøgelser. Det er en ide om, at man alene ved fordybelse og betragtning kan fornemme, hvad et landskab kan have betydet, symbolsk og æstetisk, for mennesker, som boede der i stenalderen. Han går altså ud fra, at der under alle de kulturelle forskelle mel-

lem stenaldermennesket og den moderne akademiker er et lag af fælles menneskelig natur og fælles basale behov.

Det sidste kan nok lyde en kende uvidenskabeligt. Men den form for arkæologi, som gruppen af britiske arkæologer gjorde oprør mod, bød paradoksalt nok også på metoder, som kunne virke ret uvidenskabelige. Paradoksalt, fordi dens tilhængere netop forsøgte at gøre arkæologien til en form for naturvidenskab.

Lovløse processer

Processuel arkæologi – eller *New Archaeology* – opstod i USA i årtiet efter 2. Verdenskrig, i øvrigt som et oprør mod den kulturhistoriske arkæologi, der havde været fremherskende siden slutningen af 1800-tallet. Ordet processuel kommer af, at man her søger at forstå kulturelle forandringer ved at studere de processer, som udløser dem.

Den processuelle arkæologi er i bund og grund materialistisk, og dens tilhængere insisterede fra begyndelsen på, at arkæologien skulle udøves på samme præmisser som naturvidenskabelig forskning. Med andre ord skulle den baseres på hypoteser, der kunne afprøves med eksperimenter og målbare data, så der kunne uddrages universelle love fra dem – lige som med naturlovene, bare om menneskers opførsel og udvikling af kulturer og civilisationer.

Med sådanne love ville arkæologer kunne bruge de samme principper i både Alaska, Australien, Tyskland, Tunesien, Venezuela og Vietnam – og på såvel 200 som 20.000 år gammelt arkæologisk materiale.

Det kneb dog med at finde sådanne lovmæssigheder, selv om mange forsøgte. Den amerikanske arkæolog Betty Meggers foreslog i 1960 fx følgende lov om miljøet som begrænsende faktor på kulturudvikling: $\text{Kultur} = \text{Miljø} \times \text{Teknologi}$ – hvilket skulle forstås sådan, at en kulturs udviklingsmuligheder afhænger af potentialet for agerbrug i lokalområdet.

Denne lov blev dog ikke "vedtaget", og jagten på kulturelle love er lige så stille blevet opgivet igen.

Enkelte kultur-naturlove har dog ikke kunnet afvises – som fx "Størrelsen af en buskmads-boplads er ligefrem proportional med antallet af huse på den". Til gengæld er disse love så selvindlysende, at de er blevet latterliggjort og kaldt "Mickey Mouse-love".

Danmark neutralt

De to ovennævnte retninger inden for arkæologi har spredt sig langt uden for USA og Storbritannien – også til Skandinavien. Men hvor processuel og postprocessuel arkæologi i mange år har stået skarpt



Foto: Casper Skaaning Andersen

Naturvidenskab i arkæologien

Naturvidenskabelige metoder indenfor arkæologien kan overordnet grupperes i en række områder:

Dateringsmetoder

Relative dateringsmetoder går ud på at vurdere et objekts alder ved at sammenligne det med andre objekter med kendt alder. Typisk forbinder man naturvidenskabelig datering med absolutte dateringsmetoder, der giver en alder i år. Indenfor arkæologien gælder det særligt kulstof-14-analyse og analyse af årringe i træer (dendrokronologi). En anden metode er OSL (optisk stimuleret luminiscens), der kan bruges til at datere sandlag i arkæologiske udgravninger.

Materialestudier

Omfatter metoder til at studere materialeegenskaber, produktionsteknikker og anslå, hvor en genstand er blevet produceret. Man bruger fx her forskellige teknikker baseret på røntgenstråling (fx røntgenstrålefluorescens).

Studier af fortidens miljø

Mange metoder handler i bred forstand om at vurdere forskellige aspekter af det miljø, som vore forfædre levede i. Det kan fx gå ud på at afsløre, hvad de spiste gennem analyser af dyre- og planterester eller at vurdere miljøet ved at studere pollen eller fossile mikroorganismer. Metoderne omfatter også analyser af sporelementer i knogler og DNA-analyse.

Geofysisk arkæologi

Omfatter metoder til at kortlægge undergrunden for arkæologiske fænomener (vha. fx jordradar eller magnetometre) og til at omsætte sådanne undersøgelser til computergrafik, der kan bruges til at undersøge bygningsstrukturer og udgravninger.

Bevaring

Omfatter metoder til at bevare arkæologiske fundsteder og genstande.

over for hinanden – i hvert fald blandt de arkæologer, antropologer og sociologer, der udviklede dem – har skandinaviske arkæologer set dem som to sider af samme sag.

»Her i Danmark har vi i mange år hældt mest til den naturvidenskabelige vinkel, men det har været sundt for faget at skulle tage højde for, at vore fortolkninger af arkæologisk materiale farves af vores

egen kulturelle baggrund. Det store skisma i vores arbejde er, hvad vi holder fakta op imod, når vi prøver at finde den store forklaring. Man var begyndt at presse data ind i forklaringer,« fortæller Mads Kähler Holst, som er arkæolog ved Moesgaard Museum. Han glæder sig også over, at oprøret mod den processuelle arkæologi har medført, at der nu er en videre horisont og en større historie at studere. Processuel arkæologi har nemlig stort set ikke

Søaflejringer
Pollen/makrofossiler:
Landskab

Menneskeknogler
aDNA
C14 - datering
Isotoper (kost og
oprindelsesområde)

Træ
Artsbestemmelse
Dendrokronologi

Sandaflejringer
OSL-datering



Mads Kähler Holst er arkæolog og ansat dels som lektor på Aarhus Universitet, dels som afdelingsleder på Moesgaard Museum.

Foto: Rikke Grøn Larsson

beskæftiget sig med de mere abstrakte sider af værdier i forhistoriske kulturer – som fx religion, verdensopfattelse, æstetik og vidensniveau.

»Vi havde i årtier oplevet, at når man fandt noget, man kaldte religiøst, så nøjedes man med netop det – altså at kalde det religiøst – og lægge det på hyl- den uden at undersøge det nærmere. Siden er man med god ret gået løs på den vinkel, at historien ikke stopper der, og at mennesket ikke nødvendigvis er et rationelt handlende menneske; derved får vi en ny og spændende historie at udforske,« siger han.

Historisk hjemmebanefordel

Når Mads Kähler Holst og andre danske arkæologer har så let ved at favne både den naturvidenskabelige og den humanistiske tilgang til faget, så skyldes det måske, at der er en stærk tradition for det herhjemme.

I begyndelsen af 1800-tallet udviklede den unge københavnske velhaverson Christian Jürgensen Thomsen (1788-1865) verdens første kontrollerede kronologi, der ikke var baseret på skriftlige kilder. Det gjorde han ved at arrangere sin egen store møntsamling efter land og konge, ud fra deres årstal og inskriptioner/symboler. Det skaffede ham ansættelse som sekretær i Den Kgl. Commission til Oldsagers Opbevaring, som var oprettet få år forinden og med tiden skulle blive til Danmarks Nationalmuseum. Hans opgave var her at katalogisere samlingen (som var en af Europas største) og forberede den på udstilling.

Hans metode blev endnu en verdenspremiere – og en tordnende succes: han fandt på at opdele den hedenske tid i stenalder, bronzealder og jernalder og arrangere samlingen af oldsager kronologisk efter den. Kronologien kunne han finde ved at analysere, hvilke typer arkæologiske materialer der var fundet sammen og derfor måtte formodes at være begravet

samtidig (fundsammenhænge) og datere dem ved hjælp af stratigrafi. Hans tredeling i sten-, bronze- og jernalder kom til at danne grundlag for forhistorisk arkæologi over det meste af verden. Christian Jürgensen Thomsen blev museumsdirektør, endda for flere museer, og begyndte at arbejde som aktiv arkæolog. Han blev så berømt, at hans buste var med på Verdensudstillingen i Paris i 1867 (det var H.C. Andersens ikke). Thomsen kunne dog være ligeglad – han var nemlig død to år tidligere.

Thomsens afløser på posten som chef for oldtids-samlingerne var en lige så stor pioner i arkæologien: Jens Jacob Asmussen Worsaae (1821-1885) blev verdens første professionelle arkæolog i forhistorisk arkæologi. Allerede som ung gjorde han sig bemærket med sin kritiske og videnskabelige behandling af arkæologisk materiale. Han nægtede at tage de mundtlige overleveringer med i sine analyser, advarede mod at tage de gamle sagn og historiske fortællinger for pålydende og fokuserede på at lære at læse de arkæologiske spor. Han blev landskendt, da han i et par kritiske artikler med overvældende grundighed påviste, at et kvindeligt, som var fundet i Haraldskjær Mose i 1835 og begravet i Skt. Nikolaj Kirke i Vejle, efter al sandsynlighed ikke var resterne af den norske dronning Gunhild, sådan som man ellers havde troet.

»Dengang var opfattelsen af fortiden flydende. Man blandede sagaer, folkefortællinger og fx Saxos Danmarkskrønike sammen. Det var netop det, man havde gjort med moseliget,« forklarer Mads Kähler Holst.

Worsaaes omhyggeligt videnskabelige tilgang til materialet gjorde det muligt at tilføre nye detaljer til Thomsens tredeling af oldtiden, så han kunne opdele stenalderen og bronzealderen i hver to underafsnit, og jernalderen i tre. Hans artikler og bøger blev oversat og udkom i andre lande, og samtidig var han en så god populærvidenskabelig formidler, at hans bøger om oldtiden solgtes i store oplag. J.J. Worsaae var således selvsikret til at deltage i den første Køkkenmøddingkommission, hvis resultater skabte genlyd langt uden for landets grænser (se faktaboks).

Kulstof-14-revolutionen

Som antydte i begyndelsen af artiklen fik kulstof-14-dateringen enorm betydning for arkæologien. Metoden blev udviklet af den amerikanske kemiker Willard F. Libby i 1947 og bygger på måling af den radioaktive kulstof-isotop ¹⁴C. Kulstof-14-dateringen blev den første absolutte dateringsmetode, sådan at forstå, at man kunne analysere sig frem til en prøves alder (op til 30.000 år tilbage i tiden – i dag er grænsen ca. 50.000 år) uden at skulle sammenligne den med yngre eller ældre prøver. Hidtil havde man dateret arkæologisk materiale ud fra, hvor det passede ind blandt andet materiale, som man mente at have opstillet i kronologisk rækkefølge.



Christian Jürgensen Thomsen (1788-1865), som fandt på at opdele den hedenske tid i stenalder, bronzealder og jernalder. Her malet af J.V. Gertner i 1849.



Fra udgravningen af køkkenmøddingen ved Ertebølle i 1893-98. Billedet er fra den 2. Køkkenmødding-kommissions rapport "Affaldsdynger fra Stenalderen i Danmark, Undersøgte for Nationalmuseet", som udkom i år 1900.



Jens Jacob Asmussen Worsaae (1821-1885)

Køkkenmøddinger på flere sprog

I 1848 blev der nedsat en kommission af tre fremtrædende videnskabsfolk til at undersøge nogle tykke lag af østers- og muslingeskaller, som var blevet fundet flere steder i landet, bl.a. ved Limfjorden. Mellem skallerne var der fundet redskaber af flint og hjortetak, og spørgsmålet var, om der var tale om naturlige aflejringer, som var kommet oven vande ved landhævning, eller om det var efterladenskaber fra stenaldermennesker. Det var naturligvis det sidste.

Kommisjonen bestod af arkæologen J.J. Worsaae, geologen Johan G. Forchhammer og zoologen Japetus Steenstrup, og det var Steenstrup, som fandt på betegnelsen "køkkenmødding".

40 år senere satte Nationalmuseet gang i en endnu grundigere tværvideenskabelig undersøgelse, med deltagelse af arkæologer, zoologer, en geolog og en botaniker, som udgravede 314 m² køkkenmødding ved Ertebølle og fandt over 8.600 arkæologiske genstande i form af dyreknogler, flintredskaber, potteskår og trækul.

Fundene vakte opsigt uden for landets grænser, og ordet køkkenmødding blev et fagudtryk på andre sprog end dansk. På fransk hedder det kjøkkenmodding, på tysk både køkkenmødding og Küchenabfallhaufen, på engelsk kitchen midden.

»Den gamle metode svarer til, hvordan man navigerede sejlskibe i gamle dage, nemlig ved bestikregning: man tager bestik af en kendt position og kan så nogenlunde præcist regne ud, hvor man vil være om fem timer, fordi man kender sin kurs og hastighed. Her tog man blot bestik af et kendt tidspunkt i fortiden – fx så og så mange år inde i Ramses II's regeringstid – og lagde år til efter den. Kulstof-14-datering svarer til at bruge GPS,« fortæller Jan Heinemeier, som er lektor i fysik og leder Aarhus Universitets center for kulstof-14-datering.

Willard Libby begyndte at publicere sine resultater i 1949, og i Danmark var man hurtig til at acceptere metoden. I 1951 blev den vurderet af en komite bestående af ledende forskere, og Niels Bohr siges at have sat punktum for diskussionerne med ordene: »Mine herrer, kulstof-14 datering er ikke en trossag, den er en kendsgerning.«

Det første kulstof-14-laboratorium uden for USA blev således etableret på Zoofysiologisk Institut i København. Herfra flyttede det senere til Natio-

nalmuseet, hvor det blev ledet af kemiingeniøren Henrik Tauber.

Siden midten af 1970'erne har fysikere på Aarhus Universitet overtaget en større og større del af opgaverne, og i dag er AMS ¹⁴C Dateringscentret (AMS står for accelerator massespektrometri) på Aarhus Universitet landets eneste udbyder af kulstof-14-datering.

Her er man netop i færd med at gøre en helt ny accelerator klar, som vil gøre det muligt at foretage kulstof-14-dateringer endnu mere effektivt og præcist – og ud fra endnu mindre prøver – end hidtil. Den vil også kunne bruges til at måle andre sjældne isotoper som fx beryllium-10 (¹⁰Be).

Venner som i gamle dage

Jan Heinemeier er begejstret for samarbejdet med arkæologerne, og det tværfaglige samarbejde mellem arkæologer og naturvidenskabsfolk er tættere nu, end det har været i mange år. Det skyldes ikke mindst, at naturvidenskaben har fået meget mere

Jan Heinemeier ved den nye accelerator på Aarhus Universitet. Den vil gøre det muligt at foretage kulstof-14-dateringer endnu mere effektivt og præcist. Og der er også andre muligheder: Fx »beryllium-datering kommer nok også til at få betydning for arkæologien, hvis man vil datere noget som er en million år gammelt. Det er vidunderligt, at vi kan kombinere så forskellige forskningsområder i den samme maskine,« fortæller Jan Heinemeier.

Fotos: Jesper Rais



at byde på, hvad angår dateringsmetoder, identifikation af materialer, DNA-analyser og brugen af sporstoffer til at spore oprindelsessted for mennesker og materialer.

Således har Nationalmuseet og Moesgaard Museum hver sin egen naturvidenskabelige afdeling, som gennemfører analyser af arkæologisk materiale for museer og universiteter i ind- og udland. Laboratorierne laver naturvidenskabelige analyser af forkullet træ og korn, pollen og dyreknoget.

Samtidig har arkæologistuderende de senere år gennemført isotopanalyzer og skrevet specialer på AMS ¹⁴C Dateringscenteret.

»De bliver videnskabsfolk i den bedste forstand, og jeg har tænkt over, om vi skal sende nogen den anden vej,« siger Jan Heinemeier og tilføjer, at mange af de opgaver, centeret løser for arkæologer, har kastet selvstændige forskningsprojekter af sig. Fx har de ud fra isotopanalyzer af skeletter fra 1300-tallet afsløret, hvordan nordboerne på Grønland ændrede kostvaner og skiftede fra landbrugsprodukter til sælkød.

At kulstof-14-datering er en kendsgerning betyder dog ikke, at alle arkæologer i resten af verden fuldt ud har accepteret dens resultater. Det blev tydeligt, da forskere fra Aarhus sammen med tyske kolleger i 2006 daterede det minoiske vulkanudbrud på Santorini til mellem 1627 og 1600 f.Kr. – hvilket var mellem 50 og 100 år tidligere end hvad klassiske

arkæologer hidtil havde regnet sig frem til. Kulstof-14-dateringen blev udført på resterne af et oliventræ, som var blevet begravet under udbruddet.

»Det gav oprør, og vi fik et clash mellem den arkæologisk/humanistiske tilgang og den naturvidenskabelige. Det er der, vi står nu. For nogle har brugt deres liv på at tidsfæste potteskår ud fra ligheder med nogle i Egypten og stratigrafiske iagttagelser. Og hvis deres datering for udbruddet ikke passer, så passer dateringer i Egypten heller ikke,« siger Jan Heinemeier.

Selv om arkæologien er det fag inden for humaniora, som har de tætteste kontaktflader til naturvidenskaben, er forholdet altså ind imellem kompliceret.

»Sådan har det dog ikke altid været. I fagets tidligste barndom i begyndelsen af 1800-tallet så videnskabsfolk ikke humaniora og naturvidenskab som vidt forskellige discipliner. Det akademiske miljø var lille, så medlemmerne var tæt på hinanden og interesserede sig for hinandens forskning. Derfor var det også naturligt, at udgravningerne i anden halvdel af 1800-tallet havde et stort islæt af naturvidenskab, sådan som vi så det med køkkenmødding-udgravningerne: geologer kiggede på jord, biologer så på dyreknoget og kemikere analyserede hvad tingene bestod af, mens arkæologerne brugte deres resultater til at få indsigt i fortidsmenneskets handlinger og adfærd. Og i sidste ende er det jo det, man vil,« siger Mads Kähler Holst. ■

Videre læsning:

Der er meget mere læsestof på hjemmesiden www.natark.dk, som tilhører foreningen Naturvidenskab i arkæologien.

J.J. Worsaaes berømte artikel om dronning Gunhilde kan hentes som pdf på http://img.kb.dk/tidsskriftdk/pdf/hto/hto_1rk_0003-PDF/hto_1rk_0003_96704.pdf – husk, den er trykt med gotiske bogstaver.

Årstal på det minoiske udbrud. Aktuel Naturvidenskab nr. 4-2006.

Se ekstra materiale via websiden: aktuelnaturvidenskab.dk/nyeste-numre/6-2013/

FYSIKLÆRERDAGE på DTU



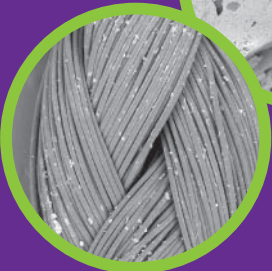
Illustration: ESS



Cornflakes



Flagesalt



Snor

Elektronmikroskopi

Træng ind bag materialernes overflade. Med Nanotekets skanningelektronmikroskoper kan man se, hvordan materialer er bygget op helt ned på mikro- og nanoskala. Mød forskere, der bruger elektronmikroskoperne i deres daglige arbejde, og prøv selv at bruge dem.

Tidspunkt: Onsdag d. 9. april 2014 kl. 10-20

Tilmeldingsfrist: Onsdag den 2. april 2014

Neutron- og røntgenkilder

ESS og MAX IV, Europas nye neutron- og røntgenkilder, er tilsammen verdens største mikroskop til materialeforskning. ESS og MAX IV skal bygges i Lund og have databehandling i København og Lyngby. Lær om de acceleratorprincipper, man benytter til at frembringe strålingen i anlæggene, og lav eksperimenter, der illustrerer principperne.

Tidspunkt: Torsdag d. 2. oktober 2014 kl. 10-20.

Tilmeldingsfrist: Torsdag den 23. september 2014

Læs mere og tilmeld dig på

www.nanoteket.fysik.dtu.dk

Fysiklærerdagene giver dig input til undervisningen. Det er gratis at deltage, men der er begrænset deltagerantal. Fysiklærerdagene foregår på DTU i Lyngby. **Obs!** De nye øvelser om elektronmikroskoper og neutron- og røntgenkilder kan sammen med andre øvelser og foredrag bestilles på www.dtu.dk/gymnasiebooking

Kampen mod pæleorm

Den borende musling, pæleorm, er en trussel mod de mere end 40.000 arkæologiske fund, der findes på den danske havbund. Ny forskning viser, at et angreb af pæleorm kræver en vis mængde cellulose bevaret i træet, og at det er muligt at stoppe et aktivt angreb af pæleorm på fundstedet.

Forfatterne



Anne Marie Eriksen er naturhistorisk konservator
anne.marie.eriksen
@natmus.dk



David Gregory er seniorforsker
david.john.gregory
@natmus.dk

Begge ved Nationalmuseets Bevaringsafdeling

Året er 1731, og langs en flere hundrede kilometer lang strækning af den hollandske kyst bryder digerne sammen. Adskillige mennesker omkommer i vandmasserne som oversvømmer store landområder og ødelægger for millioner af kroner. Da man får analyseret træet, som har understøttet digerne, ser man, at det er fyldt med huller og gange efter noget, der ligner en orm. Træet har mistet sin styrke og er bukket under for presset fra vandmasserne. Grunden til, at dette kunne ske skal findes i den lave nedbørsmængde i årene op til katastrofen. Det har gjort havet tæt på kysten mere salt og dermed skabt optimale forhold for den borende musling, pæleorm. Pæleorm lever det meste af sit liv indeni træ, som den æder og bruger som beskyttelse. Den ligner ikke en almindelig musling med to muslingskaller omkring dyrets bløddel men derimod en lang orm, hvor to små skaller for enden af hovedet vidner om dens familieforhold.

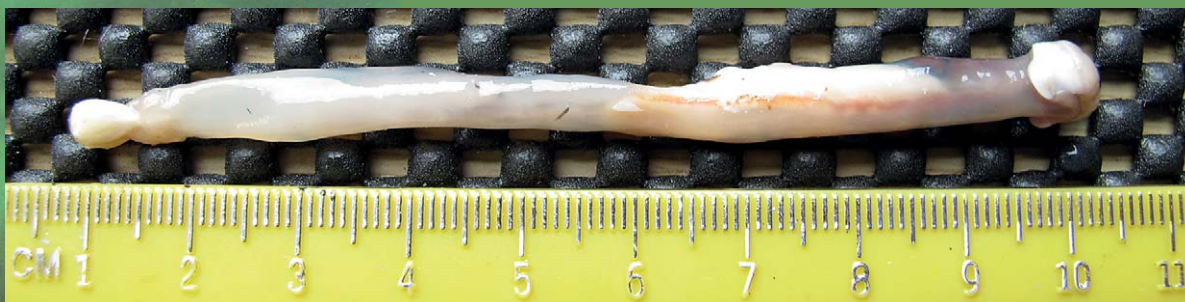
Da man ofte finder pæleorm i bundgarnspæle og fordi formen af dyrets krop får den til at ligne en orm, har muslingen fået det misvisende navn. Når

en sværm af pæleormslarver angriber et stykke træ og omdanner sig til voksne individer, kan træet være helt eller delvist ædt i løbet af ganske få måneder.

Tusinder af truede genstande

Kulturstyrelsen vurderer, at der ligger omkring 20.000 skibsvrag af arkæologisk betydning i de danske farvande. Hertil kommer det samme antal af bopladser med tilhørende genstande af træ som fiskeruser, våben, redskaber eller konstruktioner fra bygninger eller havneanlæg. Når disse genstande bliver eksponeret på havbunden, er de i fare for at blive angrebet og dermed nedbrudt af pæleorm. Det er ofte i forbindelse med større bygningsprojekter, at man finder arkæologiske genstande. Fx ved udvidelsen af en havn, nedlægning af gasledninger eller når en bro eller tunnel skal opføres.

Problemet med pæleorm, som nedbryder fortidsminder, vil let kunne løses ved at hæve genstandene, når de bliver fundet. Men i nogle tilfælde



Pæleorm er en borende musling med en aflang krop, hvor skallerne er reduceret til kun at dække det yderste af hovedet (højre side af billedet). Den bruger skallerne som borehoved, når den laver gange i træet.

Foto: David Gregory



I løbet af seks måneder kan pæleorm helt eller delvist nedbryde et stykke træ. De forer indersiden af gravegangen med et kalkholdigt sekret som afstiver gangen.

Foto: David Gregory

På havbunden ud for Langelands kyst findes flere områder med 6.000 år gamle skove, som er blevet oversvømmet når havniveauet er steget. Her ses dykkere i færd med at hæve et stykke af en egetræsstamme som senere skæres i skiver og bruges til forsøg med pæleorm på prøvelokaliteten ved Lynæs.

Foto: Sportsdykkerklubben Delfinen, Svendborg.

kan udgravningen, konserveringen og efterfølgende udstilling eller opmagasinering løbe op i store summer. Derfor er det oftest at foretrække, at genstandene bliver bevaret på selve fundstedet – enten permanent eller som en midlertidig løsning. I UNESCOs retningslinjer opfordres til at arkæologiske fund så vidt muligt skal bevares *in situ*, dvs. på fundstedet.

Ilt fremmer nedbrydningen

Ideen bag "*in situ*-bevaring" er at skabe forhold omkring fundet, som stabiliserer det og sikrer det mod yderligere nedbrydning. Indirekte er ilt med til at skabe en hurtig nedbrydning af genstanden, da ilt skaber gode forhold for de organismer der nedbryder fundene, fx svampe, bakterier og større nedbrydere som muslinger og krebs. Det er derfor vigtigt at mindske iltniveauet omkring genstanden, hvis den skal bevares. Når genstanden er begravet i sediment, er bevaringsforholdene meget bedre, da iltniveauet falder jo længere ned i sedimentet, man kommer. I praksis kan man derfor genskabe de iltfrie forhold ved at begrave

Havoverflade	Miljøklassifikation	Svampe og bakterier	Pæleorm	Bevaringsgraden
Havbund	Oxisk (iltholdigt) >3 mg/l	Hvid muld Brun muld Grå muld	+	Dårlig
Øget sedimentdybde	Suboxisk 0,01-0,3 mg/l	Grå muld Tunnelbakterier Erosionsbakterier	±	God
	Anoxisk (iltfattigt) <0,01 mg/l	Erosionsbakterier	±	

Mængden af "bionedbrydere" falder i takt med iltmængden – fx når man bevæger sig ned gennem sedimentet på havbunden. Pæleorm har brug for ilt niveauer over ca. 4 mg/L for at kunne overleve i længere tid, og derfor kan de ikke leve i træ, som ligger nedgravet i sedimentet. Der findes nogle bakterier, som kan nedbryde træ ganske langsomt under iltfrie forhold, men de forvolder langt mindre skade end pæleorm.

Illustration modificeret efter Gregory, D., Helms, A. C. & Matthiesen, H. (2008).

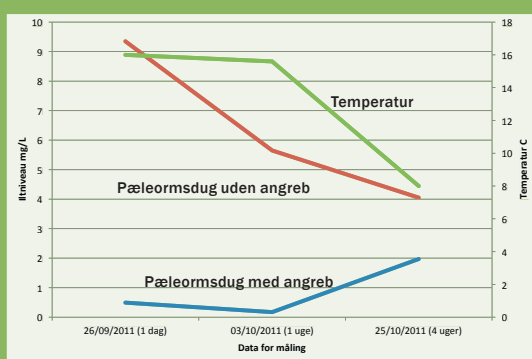
genstanden i det sediment, den er fundet i, tilføje nyt sediment i form af sandsække som dermed også stabiliserer fundet eller lægge et net eller en måtte med kunstigt ålegræs hen over fundet. Sidstnævnte metode sikrer både, at sedimentpartikler i vandet fanges i det kunstige ålegræs eller nettet og falder ned oven på fundet.

Hvis fundet stikker op af havbunden, er det dog svært at benytte disse metoder. I stedet kan man omvikle genstandene med fiberplast eller geotekstiler, som bedst kan beskrives som kraftige plastposer med enten en helt glat eller vævet

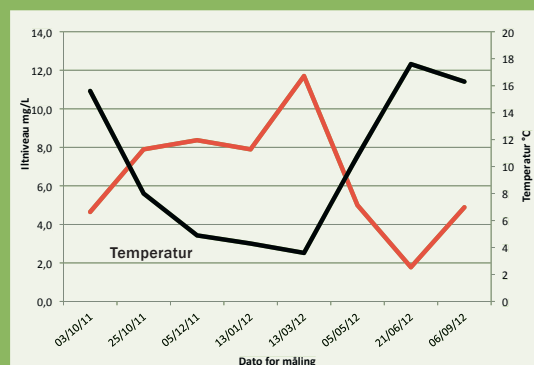
overflade. En tidligere undersøgelse har vist, at en geotekstil kaldet TERRAM4000 kan benyttes præventivt, så nye angreb af pæleorm ikke finder sted.

Pæleorme dræbes med en "dug"

Oftest finder man dog først genstanden, efter den er blevet eksponeret på havbunden, og derved kan der allerede være et aktivt angreb inde i træet, når det omvikles. Vi har udført forsøg med et plastmateriale kaldet Pæleormedug, der viser, at man ved at bruge dette materiale vil kunne slå pæleormene ihjel. Forsøget blev udført ved at omvikle 36 træklodser angrebet af pæleorm med hhv. pæle-



Figuren viser forsøg med træklodser omviklet med Pæleormedug. I løbet af den første uge falder iltniveauet, fordi pæleormene i klodserne forbruger ilt. Pæleormene dør efter en til fire uger og stopper dermed at forbruge ilt, og derfor stiger iltniveauet igen.



Iltniveauet omkring træklodser omviklet med geotekstilet TERRAM4000. Det ses, hvordan iltniveauet svinger hen over året. Niveaulet er lavere end i de frie vandmasser, men årsvariationen er den samme omkring klodserne som i vandmasserne. Materialet hæmmer derfor en smule for iltgennemtrængningen men ikke nok til at slå pæleormene ihjel.



Pæleorm i Danmark

Pæleormen *Teredo navalis* i et stykke træ.

I Danmark findes der tre arter af pæleorm, *Nototeredo norvegica*, *Psiloteredo megotara* og *Teredo navalis*: De to førstnævnte findes ved den jyske vestkyst og sidstnævnte, som er mest udbredt, lever i samtlige af de indre danske farvande. Dog ser man den ikke øst for Amager eller Gedser, da saltindholdet i denne del af Østersøen er for lavt. Et EU-støttet forskningsprojekt kaldet Wreck Protect (www.wreckprotect.eu) har tidligere undersøgt, hvorvidt den sidstnævnte art, *Teredo navalis*, vil kunne trænge ind i den indre del af Østersøen hvis forholdene ændrer sig. Der har nemlig været observeret en opblomstring af pæleorm i de indre danske farvande indenfor de seneste årtier, hvilket har givet anledning til bekymring for alle de fund, som findes i det indre af Østersøen. Fundene i

Østersøen er unikke i deres bevaringstilstand netop på grund af den manglende tilstedeværelse af pæleorm, og man kan være heldig at se skibe med intakt skrog og master stå oprejst på havbunden. Den overvejende del af fundene består af træ. Cellerne i træet består fortrinsvis af de organiske makromolekyler lignin, cellulose og hemicellulose. Under nedbrydning vil cellulose og derefter hemicellulose nedbrydes først, da disse er bygget op af sukkerenheder, som mikroorganismene kan bruge som næringskilde. Pæleorm lever i symbiose med en bakterie, som indeholder enzymet cellulase, der kan spalte cellulose. Dermed kan pæleormen nedbryde og få næring fra dele af træets komponenter.

ormedug og TERRAM 4000 og måle iltniveauet inde omkring træet.

I løbet af blot en uge faldt iltniveauet til 0,2 mg/l i Pæleormedugen, hvilket er langt under de ca. 6 mg/l, som ses omkring træ, der ikke er blevet angrebet. Og inden for en måned var samtlige pæleorme i træet omviklet med Pæleormedug døde (se figur). I modsætning hertil var pæleormene i træet omviklet med TERRAM4000 stadig i live efter et år. Selvom dette materiale hæmmer iltniveauet en smule, er det ikke tilstrækkeligt til at slå pæleormene ihjel. Tidligere forskning har vist, at pæleorm vil dø ved iltniveauer under 1 mg/l inden for en måned.

Konklusionen er altså, at det er muligt at stoppe et aktivt angreb af pæleorm i en arkæologisk genstand på havbunden ved at dække fundet til med pæleormsdug og stabilisere siderne af pæleormsdugen med sandsække, så det ikke flyder væk.

Celluloseindhold afslører sårbarhed

Pæleorm kan være selektive i deres angrebsmønstre. Marinarkæologer har observeret, at to genstande kan ligge ved siden af hinanden på havbunden, hvor kun den ene er angrebet af pæleorm. Ved forsøg med skiver af en 6.000 år gammel egestamme har vi fundet, at forklaringen sandsynlig-

vis er forskelle i træets indhold af bevaret cellulose. Forsøgene viste således, at pæleormene kun angreb kernen (dvs. midten) af træet, hvor mængden af bevaret cellulose er høj, mens de lod de yderste lag (splinten) med lavt celluloseindhold være urørt.

Mængden af bevaret cellulose i træ kan vurderes ud fra en måling af densiteten, der forholdsvis let kan foretages ved hjælp af en såkaldt pilodyn. Det er et instrument, som skyder en nål ind i træet med en bestemt energi og måler, hvor langt nålen trænger ind. Pilodynen kan også benyttes under vand. Det vil sige, at når der findes nye arkæologiske genstande på havbunden, som ønskes bevaret *in situ*, kan en dykker sendes ned med en pilodyn, bestemme densiteten af træet og derudfra komme med et kvalificeret bud på, om der bør sikres mod pæleormsangreb, fx ved at dække fundet til med pæleormsdug. En bedre og mere driftssikker pilodyn til undervandsbrug er ved at blive udviklet i forbindelse med det EU-finansierede forskningsprojekt SASMAP.

Sammen med udviklingen af en database, der indeholder et stort antal forskellige arter af træer i forskellige nedbrydningsgrader, vil disse værktøjer bringe os et skridt videre i kampen for at beskytte arkæologiske genstande mod pæleormen. ■

Yderligere læsning

Eriksen, A. M., Gregory, D. & Botfeldt, K. (in press). The survival of Teredo navalis L. in timber wrapped in TERRAM4000 and a plastic membrane. *International Biodeterioration & Biodegradation*. s. 1-6.

Gregory, D., Helms, A. C. & Matthiesen, H. (2008). The use and deployment of modern wood samples as a proxy... *Conservation and Management of Archaeological Sites* 10. s. 204-222.

Gregory, D., Jensen, P. & Strætkvern, K. (2012). Conservation and in situ preservation of wooden shipwrecks from marine environments. *Journal of Cultural Heritage* 13. s. 139-148.

SASMAP: www.sasmap.eu

WreckProtect: www.wreckprotect.eu

ANNONCE

Prøv en dag i laboratoriet på SDU

Oprens antimalaria-naturstoffet artemisinin fra kinesisk malurt

Stoffet artemisinin fra planten kinesisk malurt har man anvendt som medicin mod malaria i over 3000 år. Prøv vores heldagsøvelse, hvor formålet er at bestemme og oprense artemisinin fra et ekstrakt af kinesisk malurt.

I får kendskab til og praktisk erfaring med både analytisk kemi og naturstoffkemi, heriblandt:

- Analytisk og præparativ tyndtlagskromatografi (TLC)
- Analytisk højtryks væskrokromatografi (HPLC)
- Kvantificering vha. ekstern standard metoden
- Den kemiske sammensætning af kinesisk malurt
- Den biologiske aktivitet af kinesisk malurt.



Kinesisk malurt har man anvendt som medicin mod malaria i over 3000 år.

Laboratorieøvelsen er for gymnasieelever i 2.g. og 3.g. med kemi/biotechnologi på A- eller B-niveau. Der kan være max. 12 elever i laboratoriet pr. dag. Øvelsen foregår hos Ingeniøruddannelserne i Odense kl. 9-16 inkl. frokostpause (vi giver en sandwich ☺).

Se datoer og book på www.sdu.dk/brobygning

For mere information kontakt Randi Hærup Poser på rahp@tek.sdu.dk / 6550 7326

Strontium afslører levesteder

Strontiumisotoper i skeletter, hår og tekstiler fra fortidens mennesker kan afsløre, hvor disse mennesker voksede op eller levede de sidste år af deres liv. Det skyldes, at geografiske områder bærer en karakteristisk "strontium-signatur", som indbygges i vores krop.



Forfatteren

Karin Margarita Frei, ph.d., cand. scient. Nationalmuseet, Danmarks Grundforskningsfonds Center for Tekstilforskning (CTR). Karin.M.Frei@natmus.dk

Når arkæologer studerer efterladenskaber fra tidligere tiders mennesker, vil de meget gerne vide alt om dem: Hvor kom de fra? Hvordan levede de? Hvad spiste de? Hvilke miljøer foretrak de? Hvordan var deres indbyrdes relationer? Hvad troede de på? Ja, alt hvad det overhovedet er muligt at tvinge ud af fortidens genstande. Men de spørgsmål er ikke altid lette at svare på – slet ikke, hvis man kun har et skelet at studere.

Ved hjælp af et bio- og geokemisk redskab baseret på analyse af strontiumisotoper kan vi i dag hjælpe med at besvare det vigtige spørgsmål: Hvor kom de fra?

Metoden kan både bruges til at få oplysninger om,

hvor arkæologiske genstande kommer fra både når det gælder skeletter af dyr og mennesker og endda tekstiler.

Strontiumisotoper fortæller om geologien

Der findes fire naturlige isotoper af strontium: ^{88}Sr , ^{87}Sr , ^{86}Sr , og ^{84}Sr , hvor ^{88}Sr er langt den mest almindelige. Tre af de fire naturlige strontiumisotoper er stabile, mens den fjerde, ^{87}Sr , til dels er et produkt af et radioaktivt henfald af naturligt forekommende rubidium-87 (med en halveringstid på ca. 48,8 milliarder år).

Man har udnyttet dette til datering af geologiske materialer ud fra forholdet mellem mængderne af det radiogene ^{87}Sr og den stabile ^{86}Sr samt mængden af Rb i bjergarten.

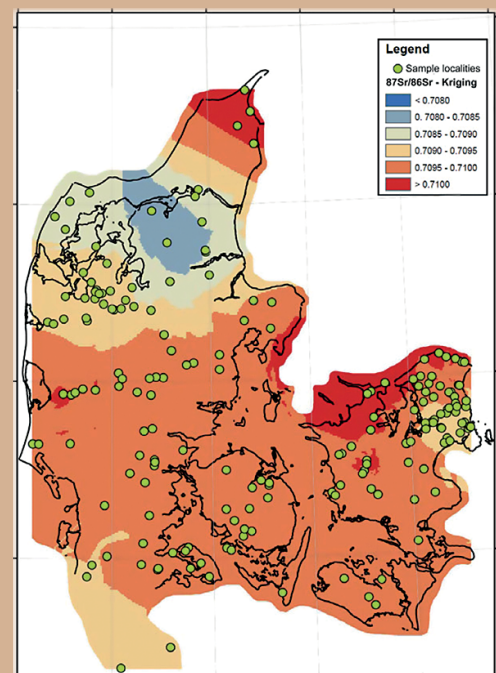
Strontiumisotop-kortlægning

For at kunne bruge strontiumisotopmetoden, må man kende isotopværdierne af biotilgængeligt strontium i jordbunden i forskellige geografiske områder. Sådanne "strontiumisotopkort" laves ved at indsamle jord, planter og overfladevand fra søer og åer. Isotopværdierne afspejler de geologiske materialer i undergrunden, men der kan også være tilført strontium "udefra" fx med partikler transporteret af vinden.

For nylig har forfatteren sammen med Robert Frei kortlagt Danmark. I Danmark ligger $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -værdierne mellem 0,708 og 0,711 hvis man ser bort fra Bornholm. Værdierne for Bornholm er højere, da Bornholm er det eneste sted i Danmark, hvor grundfjeldet er blotlagt. Med en alder på over 1,4 mia. år er disse klipper således meget ældre end noget andet geologisk materiale i det danske landskab.

Kortet viser i grove træk fordelingen af $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -værdierne i Danmark (fraregnet Bornholm).

Modificeret efter K. M. Frei & R. Frei, Applied Geochemistry (2011)..





Egtvedpigens klæder. De er udstillet på Nationalmuseet, Danmarks Oldtids permanente udstilling. Foto: Karin Margarita Frei

Forholdet mellem de to isotoper ^{87}Sr og ^{86}Sr , som betegnes $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, bliver en form for signatur for det geologiske miljø, idet der ikke sker en fraktionering, når bjergarterne nedbrydes. Man kan derfor genfinde det samme $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forhold i sedimenter og i jorden i det geologiske område. Og derfra havner det i planter og dyr, som lever i området. Det er baggrunden for at bruge metoden indenfor arkæologien til at spore, hvor planter og dyr kommer fra. Et større geografisk område vil nemlig kunne inddeles i mindre områder med et karakteristisk strontiumisotopforhold, som altså afspejler geologien i området.

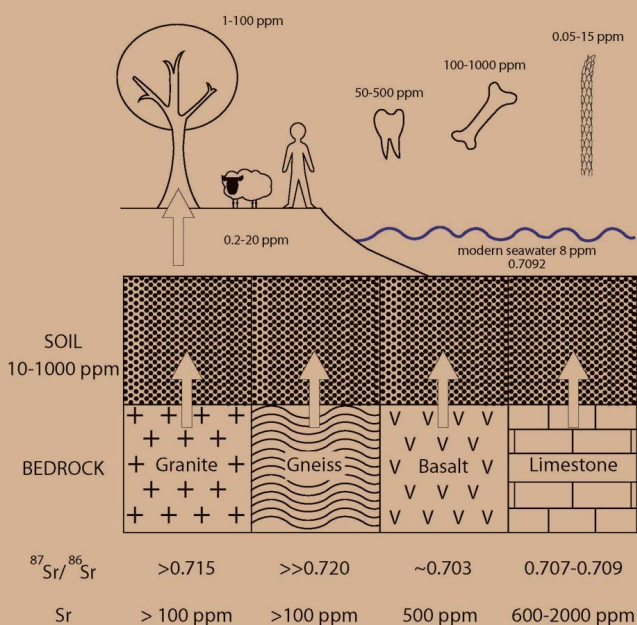
Hos menneskers optages strontium via den mad vi spiser og det vand vi drikker. I kroppen bygges strontium ind i knoglevævet da strontium kan ind-

tage samme plads i knoglestrukturen som calcium. Det er med til at styrke knoglerne ved at gøre deres massefylde større.

Strontium i mennesket

Strontium optages ikke bare jævnt i kroppen over tid. Fx dannes tandemaljen kun i barndommen og ændres ikke derefter (dog dannes visdomstanden senere i livet). Derfor vil en strontiumisotopanalyse af tandemalje fortælle noget, om hvor personen er vokset op. Tandemaljen er det hårdeste materiale i vor krop og er derfor som oftest det sidste, der findes tilbage når alt andet er forsvundet.

Et godt eksempel på det er Egtvedpiggen. Egtvedpiggen døde som ganske ung (ca. 16-18 år) for mere end 3.300 år siden i bronzealderen. Hendes karak-



Strontiumisotop cyklus

Forholdet mellem de to strontiumisotoper ^{87}Sr og ^{86}Sr varierer i geologiske materialer, hvor bjergartstypen og alderen er de vigtigste parametre. Figuren viser karakteristiske værdier for forskellige bjergarter og hvor stor koncentrationen af strontium typisk er i disse bjergarter. Når bjergarterne nedbrydes til jordbund vil signaturen i form af $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forholdet bevares i jordbunden. Derfra kommer det over i mennesker, dyr og planter, der lever i området.

Værdierne af $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ varierer omkring tallet 0,7 hvilket afspejler, at de to isotoper udgør hhv. ca. 7 % og 10 % af den samlede mængde strontium. Resten udgøres af ^{88}Sr (ca. 82,5 %) og ^{84}Sr (ca. 0,56 %).



↑ Karin Margarita Frei i gang med at udtage tandemaljeprøve fra et forhistorisk menneske i laboratoriet hos Dansk Center for Isotopgeologi ved Københavns Universitet.

teristiske klæder samt bronzebæltepladen, udsmykket med spiraler, har gjort hende til en velkendt figur fra Danmarks oldtid. Men der er faktisk ikke så meget tilbage af selve pigen. Kun hår, hjerne, negle, lidt hud og tandemaljen er tilbage. Men det er nok til, at man vil kunne udføre ret præcise strontiumisotopanalyser af hendes tænder, hår og negle, som vil kunne fortælle noget om hendes oprindelse samt hvor hun har været i de sidste måneder op til hendes død. Det er vi netop nu i gang med at undersøge som en del af et stort europæisk forskningsprojekt om bronzealderen i Nord-europa.

I modsætning til tandemaljen bliver knogler ved med at vokse og regenereres ca. hver 10. år. En strontiumisotopanalyse af menneskenes knogler vil derfor fortælle noget om hvor personen har opholdt sig i de seneste ti år af hendes/hans liv.

Strontium lagres også i håret dog i meget mindre mængder end i knogler og tænder. Det skyldes, at der ikke er så meget calcium i hår (knoglerne indeholder 99 % af kroppens calcium), og som tidligere nævnt bygges strontium ind i kroppens væv ved at substituere for calcium. Håret er dog potentielt en meget vigtig informationskilde, da det kan fortælle noget om, hvor personen har opholdt sig de sidste måneder af sit liv. Derfor er der for tiden forskningsprojekter, som går ud på at videreudvikle metoden på såvel menneskehår som dyrehår og dermed tekstiler.

Inkaer og Ötzi

I dag bruges strontiumisotopanalyse i mange arkæologiske forskningsprojekter over hele verden. Og det har givet megen ny viden om migrationer, handelsruter og netværksforbindelser.

Eksempelvis fandt man i 2004 under udgravninger ved Choquepukio midt i hjertet af Inka-imperiet

i Cuzco-dalen i Peru syv skeletter. Det drejede sig om syv børn med en alder fra 3-7 år. Man formoder, at børnene blev ofret til Gudsolen ved, et ritual med navnet *Capacocha*. Baseret på skriftlige kilder formoder forskerne, at de smukkeste børn fra hele Inka-riget blev valgt til at indgå i dette Capacocharitual. Da man i 2004 fandt så mange børn ofret samme sted, gav det mulighed for at undersøge om nogle af børnene kom langsvejs fra eller om alle var lokale. Strontiumisotopanalyser af børnenes tandemalje viste, at to af dem kom langsvejs fra.

Et andet eksempel er stenaldermanden *Ötzi*, der blev fundet i 1991 ved en gletsjer i Alperne over 3.200 meters højde ved den italiensk-østrigske grænse. Strontiumisotopanalyser har afsløret, at han højt sandsynligt var opvokset nord for Bolzano i Italien. Disse analyser fik afgørende betydning for beslutningen om at han skulle udstilles i Italien og ikke i Østrig.

Harald Blåtands lejesoldater

I Danmark er metoden fx blevet brugt på skeletter fra "Harald Blåtands hær". Under udgravningerne af den ca. 1.000 år gamle vikingeborg Trelleborg i slutningen af 1930'erne blev der udgravet 133 gravsteder. Nogle grave var fællesgrave, så der blev i alt fundet skeletdele af 157 individer. Man mener, at mange af disse individer begravet i Trelleborg udgør en del af Harald Blåtands hær.

For nylig har man undersøgt tandemaljen fra 48 af disse individer med strontiumisotopmetoden. Resultaterne viste, at ca. halvdelen af dem var opvokset udenfor Danmark (dog fraregnet Bornholm, som pga. sin geologi har strontiumisotopværdier væsentligt anderledes end resten af Danmark). Variationen i strontiumisotopforholdet viste desuden, at de "ikke-danske" individer måtte komme fra forskellige geografiske områder. Man mener derfor, at der må være tale om en slags lejesoldater.

På nuværende tidspunkt er det dog svært at sige præcist hvorfra de kom. Det skyldes, at man stadig mangler at lave strontiumisotopkort over en række europæiske områder. Der er på nuværende tidspunkt en del projekter rundt om i verden, som går ud på at kortlægge de bio-tilgængelige strontiumisotopværdier i forskellige områder. Først når disse er lavet, vil man kunne udpege de mest sandsynlige oprindelsessteder.

Der findes i dag ikke andre lige så veletablerede naturvidenskabelige metoder som strontiumisotopanalyse, der kan bringe os så tæt på, hvor et forhistorisk individ er opvokset.

De senere år er brugen af strontiumisotopanalyser blevet udviklet til også at kunne bruges til fx træ, tekstiler, plantefrø og andre organiske materialer.



Tekstilfibre i moser

Forhistoriske tekstiler er fremstillet af to forskellige typer af organiske fibre nemlig dyre- og/eller plantefibre. Animalske fibre består af proteiner, som i nogen grad er modstandsdygtige overfor forrådnelse i våde og sure miljøer. Plantefibre består af cellulose, der i nogen grad er modstandsdygtige i tørre og basiske miljøer. Det betyder, at man sjældent finder både animalske fibre og plantefibre i den samme arkæologiske udgravning.

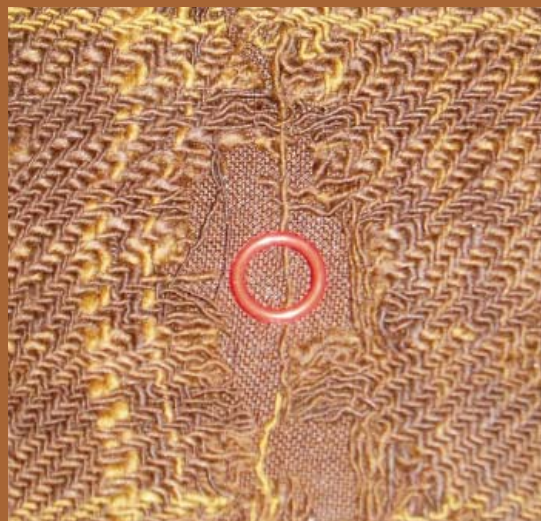
De hyppigst anvendte råmaterialer til tekstilproduktion i Skandinavien gennem forhistorien synes at have været uld og hør. I Danmark finder vi oftest uld, men det skyldes formentlig bevaringsforholdene, da mange arkæologiske fund er gjort i moser. Der findes i hovedtræk to typer af moser: *minerotrofiske* og *ombrotrofiske* moser, hvor den sidstnævnte kun er afhængige af vandtilførsel fra nedbør. Dermed udvikles der et surt og iltfrit miljø, og vegetationen er domineret af tørvemos (e.g. *Sphagnum*). I denne type miljø kan organiske materialer som uld, skind, plantefrø og træ bevares.

Et eksempel er Huldremosekvinden med en af de mest velbevarede dragter fra jernalderen. Huldremosekvinden er i dag udstillet i Danmarks Oldtids permanente udstilling på Nationalmuseet.

↑ På billedet er forfatteren i færd med at udtage prøver af Huldremosekvinden til strontiumisotopanalyzer. Huldremosekvinden findes på Nationalmuseet, Danmarks Oldtids permanente udstilling.

↓ Nærbillede af Huldremosekvindens udtørklæde. Den røde ring viser det lille stykke tråd som blev udtaget til at strontiumisotopanalyzer.

Fotos: Karin Margarita Frei



→ En af Kinas mest berømte mumier er Yingpan-manden fra det 4.-5. århundrede e.Kr. Kineserne er meget interesserede i at strontiumisotopmetoden udvikles så den også kan bruges til at analysere silkestoffer. Mumien findes på China National Silk Museum i Hangzhou.

Foto: Karin Margarita Frei



Videre læsning:

Frei, R. and Frei, K.M., (2013) The Geographic distribution of Sr isotopes from surface waters and soil extracts over the island of Bornholm (Denmark) - A base for provenance studies in archaeology and agriculture. *Applied Geochemistry*, V 38, 147-160.

Bergfjord, C. m.fl., Nettle as a distinct Bronze Age textile plant. *Scientific Reports*, open access jour., 2, 664; DOI:10.1038/srep00664

Frei, K.M. and Frei, R. (2011) The geographic distribution of strontium isotopes in Danish surface waters - a base for provenance studies in archaeology, hydrology and agriculture. *Applied Geochemistry*, V. 26, 326-340.

Frei K.M., Skals I., Gleba M., Lyngstrøm H; (2009) The Huldremose Iron Age textiles, Denmark: an attempt to define their provenance applying the strontium isotope system. *Jour. of Archaeological Science*, V 36, 1965-1971.

Frei, K.M., (2013) Den mobile viking - og sådan afslører vi ham, Vikingtid i Danmark, SAXO Institut, University of Copenhagen.

Frei, K.M., (2012) Exploring the potential of the strontium isotope tracing system in Denmark, *Danish Jour. of Archaeology*, V. 1, 2; 113-122.

Huldremosekvindens klæder

Tekstiler er sjældne i de fleste arkæologiske udgravninger, da de som regel er rådnet op. Men i visse miljøer kan organisk materiale – og dermed tekstiler – bevares. I Danmark har vi en af verdens vigtigste tekstilsamlinger fra bronze- og jernalderen. Det er de berømte deponeringer i moser, mange af dem fra jernalderen, og egekister fra bronzealderhøje, som har bidraget med disse unikke fund. Det sure og iltfattige miljø, som udvikles i moserne og højene, gør, at organisk materiale som uld og skind kan bevares.

Det er i egekister fra bronzealderen (1.800 f.Kr. - 500 f.Kr.), at de første "beklædningsgenstande" begynder at dukke op i Danmark. Egtvedpiggen er et af de kendte eksempler. Egekisterne er nogle af de mest enestående fund, vi har fra oldtiden i Europa, og de lå begravet dyb under bronzealderhøje. Flere tusinde høje blev bygget af højfolket under en relativ kort periode i bronzealderen. Og selv 3.000 år efter de blev bygget, er disse monumentale grave stadig i dag karakteristiske elementer i vores landskab.

Moserne har igennem historien været et helligt sted for vore forfædre, hvor utallige genstande er blevet ofret. I starten af jernalderen blev mennesker også ofret i moser. Det mest berømte eksempel i verden er Tollund-manden. Men der findes en del andre. Et af dem er Huldremosekvinden, som er det mest velklædte moselig fra dansk forhistorie. Hun blev stedt til hvile i en tørvemose på Djursland omkring det andet århundrede før Kristi fødsel. Huldremosekvinden er det første komplette moselig, som er indgået i Nationalmuseets samling.

Hendes klæder bestod af to skindkapper båret oven på hinanden, et skørt og et tørklæde.

I forbindelse med strontiumisotopanalyserne af klæderne opdagede man yderligere rester af plantefib-

ertråde, som man mener stammer fra et klæde, som Huldremosekvinden bar under uldklæderne. Optiske analyser af plantefibre har vist, at der formentlig er tale om et brændenældeklæde. Strontiumisotopanalyser af Huldremosekvindens uldtørklæde og det nye plantefiberklæde har givet overraskende resultater. Ulden som uldtørklædet blev fremstillet af, har en dansk strontiumisotop-værdi. Derfor er det mest sandsynligt, at de får, som ulden er lavet af, har græsset i Danmark. Modsat har planterne, som plantefibertrådene er lavet af, vokset udenfor Danmark. De høje strontiumisotop-værdier fra plantefibre viser, at det må dreje sig om et geologisk gammelt terræn som bjergarter fra Norge eller den nordlige del af Sverige.

Moselig bliver ofte tolket som individer med lav status. De nye studier med den nyudviklede strontiumisotopmetode viser, at det næppe er tilfældet med Huldremosekvinden, da hun udover en del værdifulde tekstiler også ser ud til at have haft tekstiler, som har været handlet eller fremstillet i udlandet.

Kurs mod Silkevejen

Som eksemplerne viser, kan strontiumisotopmetoden bringe os tæt på individer, som døde for flere tusinde år siden. Den kan fortælle noget om, hvor de voksede op, hvor de rejste hen og endda, om de havde handlet deres tøj i udlandet. Metodens store potentiale har betydet, at mange forskere nu undersøger nye muligheder for at udvikle metoden. Et af de seneste eksempler er silke. Silke er den mest luksuriøse af alle tekstiler, og den har været handlet flittigt i forhistorien. Men fordi råmaterialet var så værdifuldt, blev trådene tit genbrugt til at væve nye klæder i ny stil. Derfor er det ofte vanskeligt at afsløre, hvor råmaterialet kom fra.

Det vil strontiumisotopanalyser kunne bidrage med fakta om og dermed være med til at give viden om den berømte Silkevej. ■

ER DU I TVIVL OM HVILKEN UDDANNELSE DU SKAL VÆLGE?



Foto: Søren Kjeldgaard/ Aalborg

Kom til u-days

Vi åbner dørene på vores naturvidenskabelige og tekniske uddannelser på Aarhus Universitet
27. februar – 1. marts 2014

Læs mere på www.u-days.dk

- **Agrobiologi**
- **Biologi**
- **Diplomingeniør**
 - Bioteknologi
 - Bygning
 - Bygningsdesign
 - Elektro
 - Informations- og kommunikationsteknologi
 - Kemi
 - Maskin
 - Stærkstrøm
 - Sundhedsteknolog
- **Datalogi**
- **Fysik**
- **Geoscience**
- **It**
- **Kemi**
- **Matematik**
- **Matematik-økonomi**
- **Medicinalkemi**
- **Molekylær medicin**
- **Molekylærbiologi**
- **Nanoscience**



Geofysiske sporingsmetoder har afsløret en hidtil ukendt storby under det travle trafikknudepunkt Bohicon i Bénin i Vestafrika. Her fandt den første jernproduktion i Afrika sted for 3.000 år siden, og for 1.000 år siden havde byen en pulserende "jernindustri".

Magnetisk kortlægning

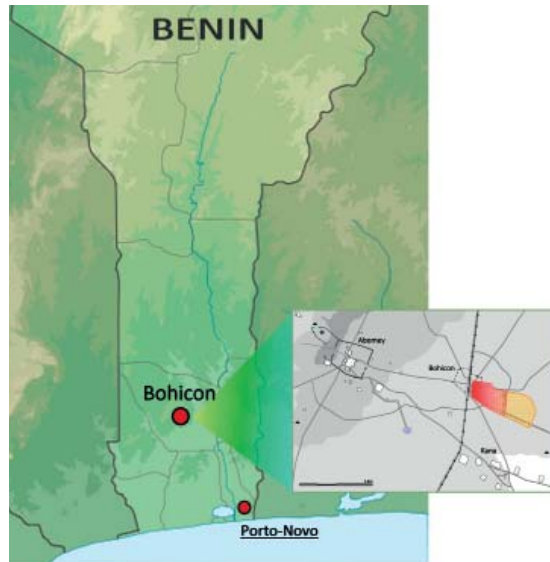
- finder gammel afrikansk jernindustri

← Arkæologi midt i byen. På begge sider af en vej, udgraves spor efter forhistorisk jernudvinding, knallerter og motorcykler er det almindeligste transportmiddel på vejene i Bénin.

I forgrunden ses afrensning af overfladen forud for fotografering af en bunke tuyører (der senere viste sig at dække to jernudvindingsovne; tuyører er mundstykker til blæsebælgge og er ofte lavet af ler, der kan tåle den høje varme i og ved ovnen). I baggrunden, på den anden side af vejen, er to jernudvindingsovne ved at blive udgravet.

Foto: Inga Merkyte

→ Byen Bohicon er et vigtigt trafikknudepunkt i den sydlige del af Bénin. Den røde farve angiver udstrækningen af den jernproducerende by fra 10. århundrede e.Kr., mens den gule farve angiver en endnu ældre by fra før 1000 f.Kr., hvor man allerede var godt bekendt med fremstilling af jern.



I 1990'erne arbejdede danske vejarbejdere med at anlægge en omfartsvej mellem byerne Abomey og Bohicon i Bénin i Vestafrika. Mens arbejdet stod på, forsvandt en rendegraver pludselig ned i et stort hul i jorden. Det blev startskuddet til et dansk arkæologisk forskningsprojekt i området ledet af professor Klavs Randsborg fra Københavns Universitet. De arkæologiske undersøgelser har åbenbart et kæmpestort område med talrige menneskeskabte "huler", der hver for sig kunne indeholde adskillige rum (mere end 1.700 registreret - kun en mindre del af det totale antal). Ingen vidste dengang, hvor gamle hulerne var eller hvem, der havde lavet dem, eller hvorfor. Viden om fortiden byggede alene på mundtlige overleveringer og på nogle få rejsebeskrivelser fra europæere, der begyndte at besøge området i det 17. århundrede. I dag ved vi, at "hulerne" er fra 1650-1850 og tjente som beskyttelsesrum under lokale krige og sekundært som vandbeholdere i tørtiden.

Under arbejdet med "hulerne" opdagene arkæologerne rester af en storby på mere end 500 hektar, der allerede for 1.000 år siden levede af industriel jernproduktion. Det viste sig også, at der allerede for 3.000 år siden var en endnu større by på stedet, sæde for den ældste palmeolieproduktion i Afrika og den tidligste jernproduktion på kontinentet.

De gamle storbyer blev bl.a. erkendt gennem en metode hentet fra geofysikken, nemlig magnetisk kortlægning.

Arkæologi og geofysik

I Danmark dukker levn fra fortiden hele tiden op af mulden pga. den intensive landbrugsdrift og store byggeprojekter med dybe fundamenter. Sådan er det ikke Bénin i Vestafrika. Her anvender man manuelle landbrugsteknikker, der kun bearbejder de øverste 10-15 cm af jordoverfladen, og byggetraditionen er også anderledes, idet man ikke anvender dybe

fundamenter til husbyggeri. Derudover vokser jordlagets tykkelse stadig i mange områder i Afrika, især i skovbæltet tværs over kontinentet, pga. omsætning af den frodige vegetation og tilførsel af støv fra Sahara. Arkæologiske fund i Vestafrika dukker derfor ofte først op et stykke under jordoverfladen.

Det var altså den udfordring, de danske arkæologer stod overfor, da de ankom til Benin i 1998. Derfor var det oplagt at finde inspiration i geofysiske metoder. Geofysik som disciplin opstod i forsøgene på at finde og udnytte jordens råstoffer. Arkæologer er først og fremmest interesserede i jordlag, der ligger tæt på overfladen og sjældent mere end i nogle få meters dybde. Derfor arbejder arkæologer med geofysiske fænomener af væsentlig mindre udstrækning end underjordiske oliebasiner eller store mineralforekomster.

Det stiller særlige krav til valget af instrumenter, som både skal være mobile og fintfølede. Arkæologer kan godt lide geofysiske metoder, fordi det som oftest er muligt at indsamle oplysninger, uden at man ødelægger de jordlag, som bliver undersøgt, hvilket jo sker ved en arkæologisk udgravning. En anden klar fordel ved brugen af geofysiske metoder er, at arkæologer kan undersøge meget større områder meget hurtigt og med betydeligt færre omkostninger end gennem en arkæologisk udgravning. En metaldetektor er et eksempel på en *aktiv* geofysisk metode, hvor omgivelserne påvirkes aktivt (fx vha. lyd, lys, eller anden stråling) og man registrerer omgivelsernes respons på påvirkningen. Responset fortæller om jordlagenes fysiske egenskaber og gør det muligt at kortlægge variationer inden for samme egenskaber. Sammen med såkaldt jordradar er metaldetektorer de mest udbredte aktive geofysiske metoder brugt i arkæologien. Til sammenligning er magnetisk kortlægning en *passiv* geofysisk metode, hvor man registrerer de naturlige variationer i omgivelserne ved hjælp af et magnetometer.

Forfatterne



Inga Merkyte, ph.d., postdoc, Saxo-Instituttet, Københavns Universitet
merkyte@hum.ku.dk



Søren Albek, MA
salbek@yahoo.com



Klavs Randsborg, professor, dr. phil. Saxo Instituttet, Københavns Universitet
randsb@hum.ku.dk



Resterne af to jernudvindingovne i den kompakte lerholdige vestafrikanske jord. Målestokken er inddelt i 10 cm enheder. Hulerne har fået deres egen arkæologiske park og museum ved Agongointo nær Bohicon. Udforskningen af hulerne har ført til mange meget spændende opdagelser, som har ændret både den lokale befolknings og omverdenens syn på Benins fortid – fra nærmest ikke-eksisterende til vigtig for hele Afrika.

Foto: Inga Merkyte

Magnetisk kortlægning

Magnetisk kortlægning af de øvre jordlag bygger på den iagttagelse, at jordens magnetfelt vil være jævnt fordelt i jordlag, der ikke er forstyrret af menneskelige aktiviteter. Menneskeskabte aktiviteter på et givent sted vil forstyrre denne ensartethed, og der vil fremstå variationer i magnetfeltet. Disse variationer eller afvigelser kaldes *anomalier*.

Anomalierne kan skyldes alt fra en tabt ølkapsel til en nylig bortkastet betonblok. Arkæologer er interesserede i levn fra fortiden som huse, man kan erkende ved tilstedeværelsen af stolpehuller og ildsteder, grave og gruber, brønde og hegn, ja alt hvad der kan hjælpe med til at besvare grundlæggende spørgsmål om livet i fortiden.

Da det ved målingerne er svært at skelne anomalier, der skyldes nutidige aktiviteter fra de forhistoriske, er det bedst at vælge et undersøgelsesområde, som ikke er væsentligt påvirket af moderne aktiviteter. Arkæologer anvender fintfølede instrumenter, der kan trænge igennem de øverste jordlag og fange "ekkoer" fra fortiden. Variationerne i magnetfelterne måles i enheder kaldet nanoTesla (10^{-9} Tesla). Disse variationer kan være ret store: Med de meget fine instrumenter, danske arkæologer i Afrika har anvendt, er der op til 30.000 gange forskel på de svageste og stærkeste signaler. Variationerne kan stamme fra selv meget små enheder, fx en nu forsvundet husstolpe. Det betyder også, at det er nødvendigt med en stor måletæthed for at kunne fange de små "plamager" og at anvende computerprogrammer til at analysere data. Programmerne foretager en statistisk sortering af målingerne og gør tallene mere overskuelige ved at omsætte dem til digitale kort i form af konturkurver, farver eller 3D. For et trænet arkæologisk øje bliver disse fænomener til kort over gruber, grøfter, arbejdsområder – altså et "frosset" billede af fortiden. Sommetider er det dog nødvendigt at foretage mindre udgravninger for præcist at forstå, hvilket arkæologisk fænomen, der gemmer sig bag de observerede anomalier.

Voodoo eller videnskab?

Et magnetometer består af en eller flere sensorer. Sensorerne er ofte parret og måler variationerne i magnetfelterne umiddelbart ved jordoverfladen og sammenholder disse med variationer i en fast afstand fra jordoverfladen. På denne måde opnås en meget høj nøjagtighed. Undersøgelsen foregår ved at magnetometeret bæres eller køres på en vogn hen over et undersøgelsesområde. Målingerne samkøres med geografiske koordinater ved hjælp af GPS eller ved inddeling af området i foruddefinerede felter. På én dag kan der undersøges mere end én hektar – et område det ville tage flere måneder at udgrave.

Forud for anvendelsen af magnetometeret i Bénin blev arkæologerne advaret om mulige problemer ved metoden. Bénin ligger nemlig lige på den magnetiske ækvator (og tæt på den geografiske ækvator), hvor magnetfeltet er svagest. En anden komplikation er, at magnetfeltlinierne tæt på ækvator forløber næsten parallelt med jordens overflade. Det gør at variationerne i magnetfelterne bliver mindre markante og derfor sværere at registrere. Ikke desto mindre lykkedes det de danske arkæologer at "erobre ækvator" og kortlægge mange arkæologiske pladser, som ligger skjult under jordoverfladen.

Når man bevæger sig med magnetometeret i heden midt i den travle afrikanske by Bohicon med susende motorcykler, larmende gadehandlere, masser af hilsende børn, og geder, høns og hunde omkring sig, opleves ofte et øjeblikkelig stilhed og forundring blandt tilskuerne: laver de mon en ny slags (voodoo)-ceremoni? Det er en nærliggende antagelse i et land, hvor man hver dag ærer sine forfædre gennem ceremonier og bruger magi til kommunikation med ånder og guder, og i øvrigt tror at slebne stenøkser er skabt af torden og lyn. Kun de tapreste blandt tilskuerne er modige nok til at spørge arkæologerne. Den videnskabelige udredning overbeviser dog de færreste. Og forundringen bliver endnu større, når der få dage senere igen dukker et hold af målbevidste arkæologer op. Et par timers koncentreret gravning og den første jernudvindingsovn ser dagens lys: "Hvordan vidste I den var her, begravet næsten en meter under overfladen? Det må da være voodoo!"

Stor "jernby" opdaget

Ved starten af udforskningen af Bohicon blev de studerede områder udvalgt mere eller mindre tilfældigt. Men nu er arkæologerne i gang med at kortlægge hvert eneste grønne "frimærke" – alle de endnu ubebyggede steder i den hastigt voksende by. På bare den tid projektet har varet, er antallet af indbyggere i Benin fordoblet, og ikke mindst i byerne. Derfor er man nødt til at anvende forskningsmetoder der hurtigt undersøger store områder og baner vejen for mindre men meget målrettede udgravninger. Allede de første magnetometriske kort overraskede.



Eksempel på brug af jordradar ved Kernave i Litauen (som er på UNESCO's Verdenskulturarvsliste). Radaren trækkes henover området, der skal undersøges; resultaterne af målingen kan ses direkte på skærmen på den bærbare computer.

Fotos: Inga Merkyte.



Geofysiske metoder i arkæologien

Det ældste geofysiske instrument anses for at være kompasset, kendt siden 1100-tallet. Det peger altid mod jordens magnetiske nordpol. Men lokale magnetiske forstyrrelser kan påvirke kompasset, så dets nordpil afviger fra den forventede retning. Opdagelsen af dette forhold blev udnyttet til påvisning af forekomster af jernmalm i Sverige allerede i det syttende århundrede. Det første magnetometer, dvs. et instrument til måling af jordens magnetfelter og lokale variationer, blev også udviklet i Sverige af Tobias Thalén i 1874.

Magnetometeret er i dag det mest anvendte geofysiske instrument indenfor arkæologien. For at få en hurtig vurdering af hvorvidt et undersøgelsesområde indeholder arkæologiske levn, kan man også anvende instrumenter, der måler magnetisk susceptibilitet eller modtagelighed. Det er en effektiv teknik, der anvendes som en form for rekognoscering forud for en mere detaljeret magnetisk kortlægning.

Et andet meget almindeligt instrument, som benyttes af arkæologer, er jordradar. Jordradar anvender radiobølger (typisk med en frekvens mellem 300-1.000 MHz) til at afsløre tætheden i jorden og kan dermed spore lag og genstande. Metoden er især velegnet til at opdage konstruktionsmæssige rester som kældre, fundamenter, stenbygninger, tunneller og gravkamre. Princippet i jordradar er, at den udsender pulser af højfrekvente radiobølger og måler refleksionen af disse. Jo lavere frekvens, jo dybere trænger radiobølgen ned, mens højere frekvenser ikke trænger så dybt ned men til gengæld

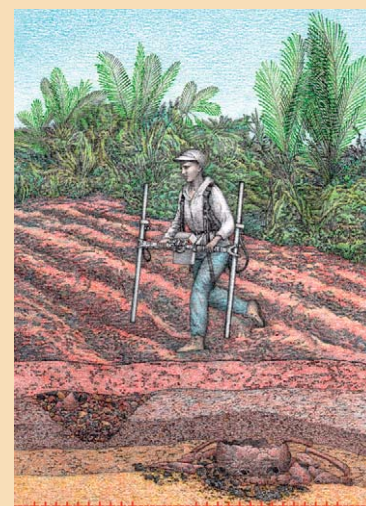
producerer et signal med høj opløsning og dermed flere informationer om jorddækkede strukturer. Jordens elektriske ledningsevne påvirker også undersøgelsesdybden.

Elektriske og elektromagnetiske metoder bygger på måling af jordens ledningsevne; resistens anvendes også. Metoderne bygger på, at man enten sætter strøm direkte til jorden eller påvirker jordoverfladen med et magnetfelt og måler responsen. Variationerne i ledningsevnen kan give et fingerpeg om jordens fysiske egenskaber, herunder menneskeskabte variationer.

Der findes yderligere en gruppe af geofysiske metoder, som har et vist potentiale indenfor arkæologien. Det gælder fx termisk prospektion, hvor man måler temperaturvariationerne (varmeabsorption og -emission) i jordens overflade. Hermed kan man identificere grøfter, gamle flodlejer, marksystemer, slaggebjerge og lignende.

Tegningen viser en arkæologisk undersøgelse med magnetometer. Når arkæologen vandrer på overfladen kan menneskeskabte strukturer – som her en affaldsgrube og en ovn – gemt i undergrunden opdages ved udsving i magnetfelterne (illustreret ved "+" på tegningen).

Tegning: Izolda Maciukaite



Opmålingsteam i færd med magnetisk kortlægning af området rundt om Kivik-graven i Skåne (ældre bronzealder), en af de vigtigste fundpladser i Sydsandinavien.

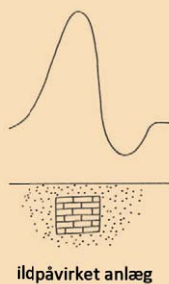
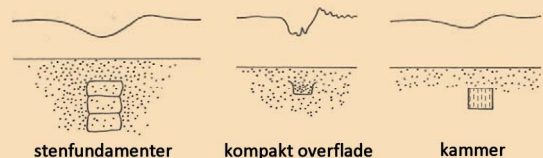
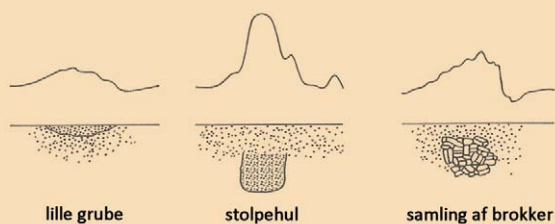
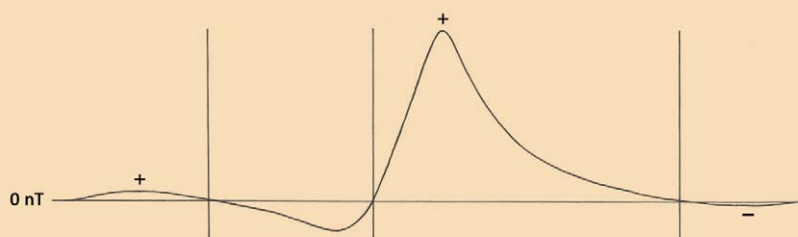


Magnetiske målinger

Et magnetfelts styrke måles i enheden tesla, opkaldt efter den serbiske fysiker Nikola Tesla. Tesla er en temmelig stor enhed hvorfor man oftest bruger nano-tesla (nT) eller mikrotesla (μT). $1 \text{ tesla} = 1.000.000.000 \text{ nT}$. $1 \mu\text{T} = 1.000 \text{ nT}$. Jordens magnetfelt er stærkest ved polerne og måler ca. $65 \mu\text{T}$ mens det er svagest ved Ækvator hvor det måler ca. $32 \mu\text{T}$. I Danmark er magnetfeltet ca. $50 \mu\text{T}$. Til sammenligning kan en køleskabsmagnet måles til at være 5 milli-tesla eller ca. 100 gange mere end jordens magnetfelt over Danmark. Moderne magnetometre har en følsomhed fra $0,01 \text{ nT}$ ned til

$0,000001 \text{ nT}$ (10^{-15}T). Det er tilstrækkeligt til at opdage arkæologiske rester ned til en dybde på 2-3 m under jordoverfladen.

Magnetiske målinger er nemmest at overskue i form af kort så man kan vurdere anomaliers styrke, størrelse, form og de mønstre de danner. Et typisk kort vil benytte sig af en farveskala, fx grå hvor hvid farve markerer negative værdier mens sort markerer de højeste positive værdier. Med hvert kort følger også en farveskala som hjælper med at evaluere anomaliers styrke der kan være bestemt af deres type, størrelse og dybde. Når man fortolker magnetiske kort skelnes der generelt mellem tre slags geofysiske anomalier:

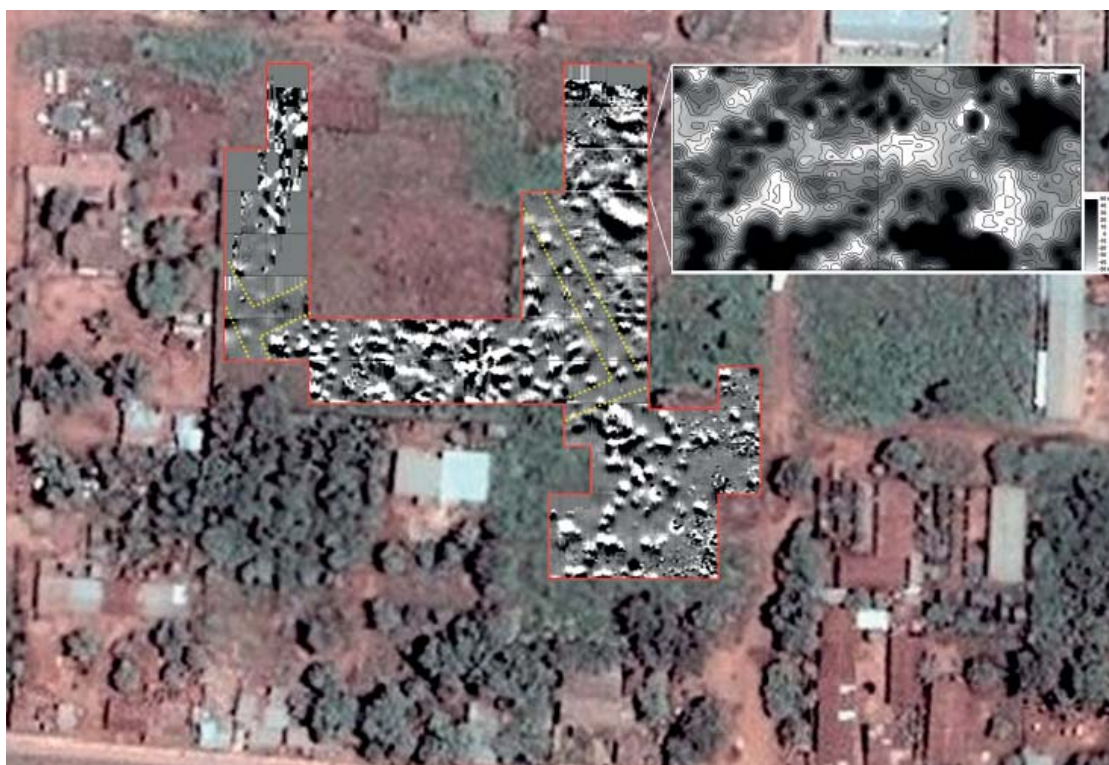


1) Positive magnetiske anomalier, dvs. områder med et meget stærkt eller positivt magnetfelt som associeres med jordfyldte strukturer som gruber, grøfter og stolpehuller.

2) Negative magnetiske anomalier, dvs. områder med afvigende lavt eller negativt magnetfelt som kan indikere vejforløb, vægfundamenter, brolægninger, hulrum og lignende.

3) Dipolære magnetiske anomalier, dvs. områder hvor der parvist er både positive og negative magnetiske udsving til stede. Det afspejler typisk jernholdige eller brændte materialer (herunder moderne hegn og nedgravede ledninger) og/eller brændte strukturer som ovne eller ildsteder.

← Eksempler på arkæologiske anlæg og de magnetiske anomalier de giver anledning til deres identifikation.



Et udsnit af Bohicon med et af områderne kortlagt med magnetometer. Et område på 20x10 m af det magnetiske kort er forstørret og viser prikformede anomalier identificeret som jernudvindingsovne, der løber rundt om en bakke bestående af jernslagge og affald fra 900-tallet e.Kr. Som baggrund anvendes et luftfoto taget i 2008. Den forhistoriske by var inddelt af gader, hvilket er markeret med gule stiplede linier.

De var fyldt med prikformede anomalier dybt under jordoverfladen, som ikke lignede nogen af de kendte arkæologiske fænomener. Udgravninger afslørede, at prikkerne repræsenterer jernudvindingsovne. Og der var hundreder af dem indenfor de undersøgte områder og givetvis mange tusinde udenfor!

I fortidens Bénin blev jern produceret i høje skorstensagtige ovne, hvor man lagvis placerede jernholdig malm og trækul. Når temperaturerne blev tilstrækkeligt høje, løb slaggen ud mens jernet blev tilbage i ovnen som en kagelignende svampet klump – Afrikas sande guld! Jernudvindingsovne i lange rækker lå sammen med mængder af jernslagge, der blev smidt i de selvsamme gruber, hvorfra man havde hentet leret til konstruktion af ovne og huse. Gruber og husrester ses som “pandekager” på de magnetiske kort. I forbindelse med udgravningerne fandt arkæologerne også mange tegn på reparationer, der tydede på, at den samme ovn var blevet brugt igen og igen.

Samlet afslørede undersøgelserne, at der her var tale om et område på mindst 550 ha (5,5 km²) – en gigantisk “jernby” samtidig med vikingetiden i Danmark. Til sammenligning var middelalderens København på ca. 60 ha.

Jernbyen havde en produktion, der minder om moderne fabrikker med op til 500 ovne i gang dag-

ligt, konstant røg, forurening, trækulsbrænding og afskovning – en menneskeskabt naturkatastrofe i næsten moderne målestok. Men helt sikkert noget, der kunne betale sig. Tilbage står kun ét spørgsmål – hvem var aftagerne til de store mængder jern, langt mere end til lokalt forbrug? Svaret er nok: de islamiske riger mod nord.

Afrikas første jernproduktion

Magnetisk kortlægning ledte også de danske arkæologer på sporet af andre opdagelser. En prøvegravning af en af “pandekagerne” afslørede en væltet lermur til en brændt hytte som gemte palmeskaller, lerkar og en aflang klump “rust”. Røntgenfoto-grafiering af klumpen afslørede en jernlansespids lavet af en meget dygtig smed. Kulstof-14-dateringer af palmeskallerne ledte til en endnu større overraskelse: Hytten brændte ned for 3.000 år siden. Det vil sige, at Afrikas tidligste jernproduktion skabtes netop her, hvor en industriel produktion af jern fandt sted et par årtusinder senere og – som det skulle vise sig – i en storby på mindst 650 hektar og samtidig med dansk bronzealder. Afrikas største by uden for Faraonernes Ægypten!

Den næste opgave, der venter arkæologerne, er formidlingen af denne helt spritnye viden i form af en permanent udstilling på Benins fornemste museum, Paladmuseet i Abomey, en af UNESCO's Verdenskulturarvslokalteter. ■

Videre læsning

Abrahamsen, N. 1965. Arkaomagnetisme og jernalderslagge. KUML, s. 115-132.

Bevan, B. W. 2000. An Early Geophysical Survey at Williamsburg, USA. *Archaeological Prospection* 7:1, s. 51-58.

Conyers, L. B. 2013. *Interpreting Ground-penetrating Radar for Archaeology*. Left Coast Press.

Gaffney, C., Gater, J. 2006. *Revealing the Buried Past: Geophysics for Archaeologists*, Tempus.

Greve, M. H., S. B. Torp, H. Nørgård, 2008. Fremdriftsrapport for de geofysiske undersøgelser ved Jelling. Nationalmuseet.

Møller, J.-T., Jørgensen, M.-S. & Høstmark, J. 1984, eds. *Arkæologi og geofysiske sporingmetoder*. Working Papers 14, Nationalmuseet, København.

Smekalova, T. N., Voss, O., Smekalov, S. L. 2008. *Magnetic surveying in archeology. More than 10 years of using the Overhauser GSM-19 gradiometer*. Wormianum.

Viberg, A., Trinks, I., Lidén, K. 2011. A Review of the Use of Geophysical Archaeological Prospection in Sweden. *Archaeological Prospection* 18, s. 43-65.

Hjemmeside: www.worldarchaeology.net/geofysik
<http://agongointo.worldarchaeology.net/>

Mørteldatering og kirkearkæologi

Kulstof-14-analyse bruges normalt til at datere organisk materiale som træ eller knogler. De seneste tiår er metoden blevet udviklet, så den også kan bruges på mørtel og dermed hjælpe med at bestemme alderen på bygninger.

Sunds kirke på Ålandsøerne. Denne kirke er fra 1200-tallet.
Foto: Augusto Mendes

Forfatterne

Åsa Ringbom er professor emeritus Åbo Akademi, Finland
aringbom@abo.fi

Jan Heinemeier er lektor ved Institut for Fysik og Astronomi Aarhus Universitet
jh@phys.au.dk

Alf Lindroos er forsker, ph.d. Åbo Akademi
alf.lindroos@abo.fi

På Ålandsøerne i Finland findes 12 stenkirker fra middelalderen. Kirkerne har de seneste årtier været genstand for en større videnskabelig diskussion om, hvor gamle de egentlig er. Der findes ikke skriftlige kilder, der fortæller, hvornår de blev bygget, og derfor må man udrede kronologien på anden måde.

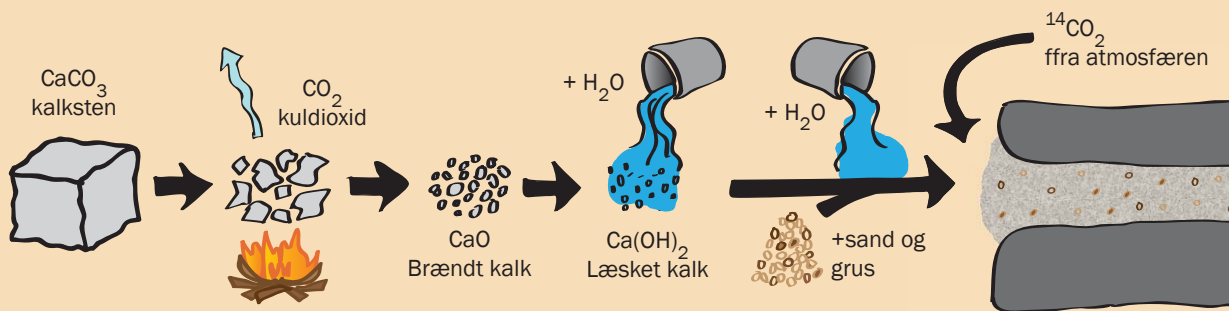
Omkring 1990 var der blandt historikere, kunsthistorikere og arkæologer vidt forskellige meninger om Ålandskirkernes alder. Landskabsarkæologen Matts Dreijer hævdede fx, at kirkerne var blevet bygget i 1100-tallet – ja, han mente endda, at nogle af dem var endnu ældre. De fleste forskere mente dog, at de første kirker blev bygget i den seneste halvdel af 1200-tallet.

I 1994 præsenterede arkæologen Markus Hiekkanen i sin doktorafhandling om finske stenkirker en helt ny kronologi for kirkerne på Ålandsøerne. Med undtagelse af en enkelt (Jomala kirke som han henførte til 1200-tallet) daterede han alle øvrige kirker til 1300-1400-tallet. Dette baserede han på sammenlignende klassificering af forskellige bygningsdetaljer og stilistiske træk ved bygningerne.

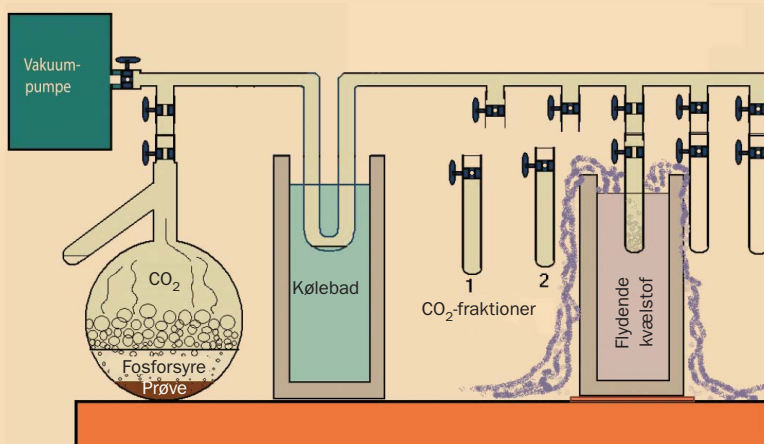
Mørtel med kulstof-14

I slutningen af 1980'erne var den traditionelle kulstof-14-analyse blevet udviklet til at kunne bruges på mørtel. Det var derfor oplagt at forsøge at inddrage denne metode til at få styr på de ålandske kirkers kronologi.

Mørtel og CO₂

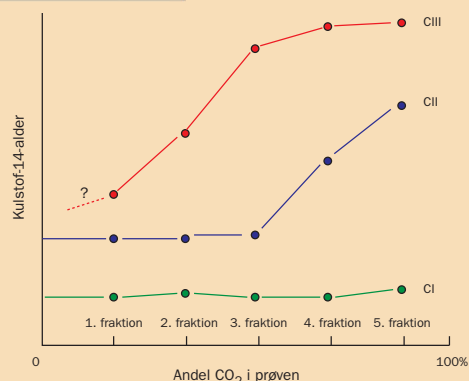


Princippet i fremstilling af kalkmørtel. Når mørtelen hærdner fixeres atmosfærens indhold af kulstof-14 i mørtelen.



Figuren viser princippet i kemisk separering af CO₂-fraktioner fra en mørtelprøve. De første 2 fraktioner udtages meget hurtigt i processen (efter få minutter), mens de sidste fraktioner udtages efter flere timer.

Grafen viser skematisk forskellige typer af aldersprofiler for en mørtel baseret på analyse af fem forskellige fraktioner af CO₂ indsamlet, når man opløser mørtelprøven med fosforsyre. Hvis datering af de fem fraktioner viser en aldersprofil som CI eller CII er resultatet meget troværdigt, og analysen kan bruges som selvstændig dateringsmetode. Hvis prøven derimod viser en aldersprofil som i CIII, må resultatet kontrolleres af andre dateringsmetoder.



Kulstof-14-analyse kan bruges på mørtel fordi mørtel optager CO₂ fra atmosfæren mens den hærdner. Mørtel laves ud fra brændt kalk der laves ved at opvarme kalk (calciumcarbonat, CaCO_3) til mindst 900 °C. I denne proces frigøres CO₂ og man får brændt kalk (calciumoxid, CaO). Når denne siden slæmmes med vand får man læsket kalk som i næste skridt blandes med vand og typisk sand. I hærdningsprocessen reagerer den læskede kalk med atmosfærisk kuldioxid og der dannes igen calciumcarbonat. Den CO₂ der indbygges i mørtelen under hærdningen afspejler altså atmosfærens indhold af kulstof-14 på det tidspunkt hvor hærdningen foregår.

Normalt bruger man kulstof-14-analyse på organisk materiale, og man havde da også forsøgt at datere

bjælker i kirkernes loftskonstruktion med kulstof-14 og såkaldt dendrokronologi (datering vha. analyse af årringe i træet). Problemet var dog, at disse analyser gav forskellige aldre fra træbjælke til træbjælke. Konklusionen var simpelthen den, at bjælkerne løbende var blevet skiftet ud, og derfor gav de ikke pålidelige aldre for, hvornår kirkerne oprindeligt var bygget. Dele af murværket kunne man derimod være sikker på faktisk stammer fra den tid, kirken blev bygget.

Bedre dateringer med atomaccelerator

De første kulstof-14-analyser på mørtel fra kirkerne blev udført med den traditionelle metode, som kræver store prøvemængder (omkring et kilo mørtel). Resultaterne varierede dog meget – og ofte med alt for store fejlmarginer.



Jan Heinemeier og Alf Lindroos i færd med at udtage mørtelprøver til analyse fra Kumlinge kirke på Ålandsøerne.

Foto: Åsa Ringbom

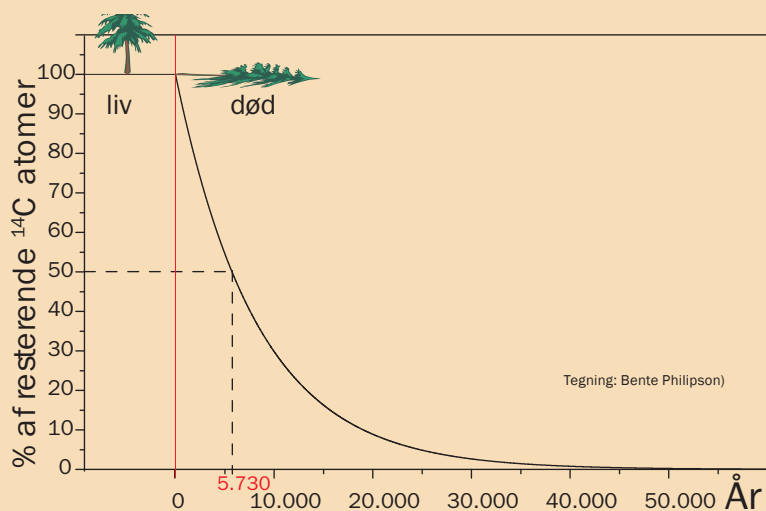
Kulstof-14-analyse

I atmosfæren findes der et enkelt kulstof-14-atom for hver 1.000 milliarder almindelige kulstof-12-atomer. Kulstof-14-atomer dannes i den øverste del af atmosfæren, hvor stråling fra verdensrummet omdanner nitrogenatomer til den

radioaktive isotop kulstof-14. Disse finder hurtigt sammen med ilt og bliver til $^{14}\text{CO}_2$ -molekyler, der med luftstrømmene spredes til hele atmosfæren. Herfra optager planter det i deres væv ved fotosyntesen – og herfra havner det også i organismer der spiser planter, fx i vores knogler. Koncentrationen af kulstof i levende organismer er dermed i ligevægt med atmosfærens kulstof-14.

Når en organisme dør, vil mængden af kulstof-14 i dens jordiske rester gradvist forsvinde, fordi kulstof-14 er radioaktivt med en halveringstid på 5.730 år. Ved at måle hvor meget kulstof-14, der er tilbage i fx en knogle, vil man kunne anslå dens alder, da atmosfærens koncentration af kulstof-14 er nogenlunde konstant.

Den traditionelle kulstof-14-analyse går ud på at brænde prøven af, hvorved der frigives CO_2 . Herefter måler man henfaldet af kulstof-14 med en geigertæller, idet der udsendes beta-partikler ved dette henfald. Da et sådant henfald er en sjælden begivenhed skal der store prøvemængder til for at få tællinger nok til at give et statistisk sikkert resultat.



Det blev meget bedre, da vi i 1994 gik over til at udføre kulstof-14-analysen ved hjælp af en atomaccelerator. Fordelen er, at man skal bruge en meget mindre mængde prøvemateriale. Vi kunne således nøjes med en håndfuld mørtel pr. analyse – og det er endda kun en del af prøven, der er nødvendig til selve analysen, resten kunne gemmes i en databank til senere brug.

Samtidig besluttede vi ikke længere at bruge resultaterne fra konventionel datering med kulstof-14. Dermed repræsenterede år 1994 en metodologisk nystart for mørteldatering ved hjælp af kulstof-14.

Grundige forberedelser

Udfordringen i at få nøjagtige dateringer af mørtel med kulstof-14-metoden er bl.a. at være meget omhyggelig med udvælgelsen af prøvematerialet. Særligt er det vigtigt at undgå, at der i prøvematerialet er små klumper af ubrændt kalk (som der uundgåeligt vil være i mørtel), da ubrændt kalk vil give alt for høje aldre.

For at undgå den slags fejlkilder præparerer vi prøverne både mekanisk og kemisk. Når man knuser mørtel vil den rene mørtel knuses meget lettere end de mere kompakte, ubrændte kalkklumper. Derved kan man altså hurtigt lave en grovsortering af prøven.

Til den kemiske præparering bruges 85 % fosforsyre til at opløse prøven og derved frigøre CO₂. Da mørtel opløses hurtigere end ubrændt kalk, vil den

første CO₂, der frigøres, derfor stamme fra mørtelen i prøven. Ved gentagne gange at opsamle prøver af CO₂ i opløsningsprocessen får man altså et antal (4-5) fraktioner af CO₂, som kan analyseres særskilt. Resultatet bliver et aldersprofil, der afspejler opløsningsprocessen: De første CO₂-fraktioner antages at stamme fra ren mørtel og burde derfor give den rigtige alder. De efterfølgende fraktioner vil give højere og højere aldre i takt med at fosforsyren efterhånden opløser klumper af ubrændt kalk i prøven.

Kirkekronologi

Samlet har vi foretaget over 1.000 dateringsmålinger på forskellige kemiske fraktioner af ca. 200 mørtelprøver fra kirkerne på Ålandsøerne. Resultaterne viste en kronologi for kirkerne på Ålandsøerne, hvor de store hovedkirker på øerne er fra slutningen af 1200-tallet, mens de mindre kirker på de ydre skærgårdsøer er fra 1300-tallet. Enkelte kapelkirker i sten er fra 1400-tallet.

Det er altid vigtigt at kunne vurdere en dateringsmetodes pålidelighed ud fra uafhængige kontroldateringer. For ca. halvdelen af mørtelprøverne kunne vi sammenligne med resultater fra dendrokronologi eller fra historiske kilder. Og i 96 % af disse tilfælde ramte kulstof-14-dateringen plet.

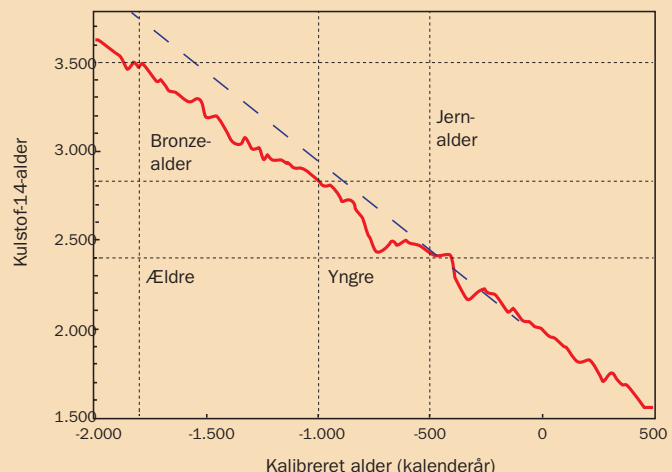
Det var en vigtig bekræftelse af mørtel-dateringens pålidelighed, og projektet gav os værdifuld erfaring omkring mørteldatering, som vi har kunnet anvende i andre sammenhænge i hele Europa.

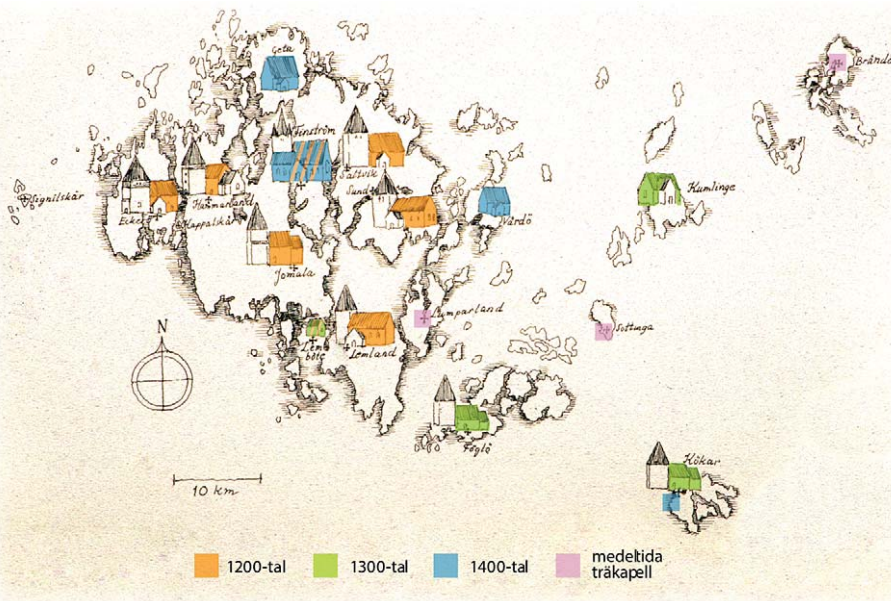
Med accelerator-metoden går man mere direkte til værks, idet man her måler det faktiske indhold af kulstof-14 i prøven. Det gøres ved at sortere kulstofatomerne i en prøve efter masse – kulstof-14 er tungere end dens fætre kulstof-13 og kulstof-12. Det foregår ved at give atomerne en elektrisk ladning og derefter sætte dem i fart og lade dem passere en elektromagnet, der afbøjer deres bane. De lette kulstofatomer vil afbøjes mest, og kun kulstof-14 vil ramme detektoren. Med denne metode kan man nøjes med prøvemængder, der er tusind gange mindre end med den traditionelle metode.

Fra kulstof-14-år til kalenderår

Koncentrationen af kulstof-14 i atmosfæren varierer i praksis med tiden. Derfor har det været nødvendigt at lave en kalibreringskurve, som kan omsætte målte kulstof-14-aldre til kalenderår – en slags facitliste om man vil. Denne kurve er lavet ved at analysere og måle kulstof-14 i træringe på ældgamle træer og fossilt træ. Til sammen har man kunnet stykke en kalibreringskurve sammen, der rækker næsten 50.000 år tilbage i tiden.

Kulstof-14-dateringernes nøjagtighed afhænger af hvor man rammer på denne kalibreringskurve. Desværre findes der et ret fladt stykke omkring 1300-tallet som er et vigtigt tidspunkt i nordisk middelalder. Det betyder at man ofte må nøjes med at henføre en genstand til det rette århundrede.





Dateringer af mørtel fra kirkerne på Ålandsøerne viser kronologien i hvornår de blev bygget.

Forslag til videre læsning
www.kyrkor.ax
www.mortardating.com

Fra Ålandsøerne til Rom

Siden projektet med datering af de ålandske kirker er metoden med held blevet brugt på andre bygninger med kalkmørtel fra middelalderen i Skandinavien – bl.a. på Gotland og i Skåne.

Og metoden er også blevet testet på andre typer af mørtel – fx til at aldersbestemme det ældste romerske bygningskompleks på den Iberiske halvø, Torre de Palma i Portugal. Her gav mørteldatering nøglen til at kunne bestemme kronologien i byggeriet af det store kompleks, som strakte sig over en lang periode fra ca. år 100 – 650 e.kr.

En særlig udfordring, som vi stadig arbejder med den dag i dag, har været at teste metoden på såkaldt pozzolana-mørtel i Rom. En af hemmelighederne ved holdbarheden i romersk cement er, at den er baseret på vulkansk aske, der bl.a. indeholder silikat og aluminium. Til forskel fra kalkmørtel kan pozzolana-mørtel endda hærde under vand.

Denne type mørtel optager ikke nødvendigvis CO_2 fra atmosfæren under hærden. Derfor var vi indstillet på, at det næppe kunne lade sig gøre at datere pozzolana-mørtel med kulstof-14, da vi i 1998 begyndte at tage prøver i Rom. Men det lykkedes alligevel at datere ca. halvdelen af de bygninger, vi tog prø-

Forskergruppen foran Colosseum i Rom. Resultaterne af mørtelanalyser fra dette bygningsværk viser en alder, som er tilsvarende, hvad man kender fra historiske kilder, ca. 80 e.kr. Fra venstre ses Lynne Lancaster, Jan Heinemeier, Åsa Ringbom og Alf Lindroos.



ver fra – heriblandt Colosseum og Trajanus Marked. Lige så ofte fik vi dog resultater der var ubrugelige eller svære at tolke. Fx mislykkedes konsekvent alle prøver taget i Pompeji og Herculaneum, og vi er nu sammen med forskere fra bl.a. universitetet i Napoli ved at udrede årsagerne til dette. En mulighed er at mørtelen løbende har optaget CO_2 fra vulkanen Vesuv.

Vigtige kalkklumper

I arbejdet med pozzolana-mørtel opdagede vi, at en særlig type kalkklumper i mørtelen kan være nøglen til en pålidelig datering. Sådanne klumper er opstået under processen, hvor man har blandet den brændte kalk med vand. Under omrøringen kan der dannes klumper af kalk, der ikke bliver ordentlig opblandet med vandet (ligesom mel kan finde på at gøre, når man rører det ud i vand). Disse kalkklumper vil i dateringssammenhæng repræsentere “den rene vare” og ikke på samme måde som resten af mørtelen være forurenset med mørtelens andre komponenter, der kan forstyrre dateringen.

Da vi indså disse kalkklumpers potentielle betydning indledte vi en systematisk analyse af kalkklumper, som vi havde i vores arkiv over mørtel. Indtil videre har vi dateret 32 sådanne kalkklumper, og af dem er det kun to, der konsekvent er slået fejl – nemlig fra Pompeji og Herculaneum. For en sikkerheds skyld analyserer vi kalkklumperne i to CO_2 -fraktioner for at afgøre om klumperne kan have været dårligt brændte. Det sker nemlig, at anden fraktion bliver en anelse ældre end første. Men som regel ender analyserne med at give samme resultat.

Vi har derfor grund til forsigtig optimisme mht. at analyser af kalkklumper kan være løsningen for datering af pozzolana-mørtel. Analyser af kalkklumper har yderligere den fordel, at de er billigere at udføre, da det kræver analyse af færre CO_2 -fraktioner end de fem, som bruges til andre prøver. Til gengæld kan man ikke altid være sikker på at finde egnede kalkklumper i mørtelprøver.

Tværfagligt samarbejde

Siden vi for 19 år siden indledte projektet om metodeudvikling af kulstof-14-analyse til datering af ålandske kirker, har vi redegjort for mere end 600 mørtelanalyser fra forskellige egne i Europa. I øjeblikket tilpasses metoden til brug i 16 lande i Europa, og der er i den forbindelse etableret et værdifuldt, tværfagligt netværk af forskere, som tilsammen videreudvikler metoden.

Selv udforsker vi for tiden betydningen af analyse af kalkklumper i datering af mørtel sammen med Gianluca Pesce fra universitetet i Bath, Storbritannien. Det bruger vi bl.a. til analyse af kalkklumper fra ålandske prøver i vores databank i forbindelse med projektet med kirkerne på Åland, som nu nærmer sig sin afslutning. ■



VÆLG DEN RIGTIGE UDDANNELSE

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

- Komme til Åbent Hus
- Blive studerende for en dag
- Besøge os med din klasse
- Se film om uddannelserne

Læs mere om vores uddannelser og dine muligheder på science.ku.dk/ba

Oplev 22 naturvidenskabelige 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





DNA-detektiv løser fortidens gåder

Moderne DNA-teknologi gør det muligt at udvinde og analysere DNA fra flere tusinde år gamle prøver. Det har medført, at vi på flere punkter må skrive verdenshistorien om, hvad angår vores viden om bl.a. fortidsmennesker og dyr.

Forfatteren



Svend Thaning, journalist
Københavns Universitet
svt@science.ku.dk

Geogenetik eller DNA-analyser af fossilt DNA har de seneste tiår revolutioneret vores viden om fortiden. Den danske professor Eske Willerslev fra Københavns Universitet har en stor aktie i denne revolution. Han har stået bag mange opsigtsvækkende resultater, der har röknet ved etableret viden om fortiden.

Senest kunne han og hans team fra Grundforskningscenter for GeoGenetik på Københavns Universitet i november 2013 afsløre, at nutidens amerikanske indianere er beslægtet med europæere.

Det var skeletrester på et museum i Sankt Petersborg, der gjorde udslaget. Her lå der rester af en 24.000 år gammel dreng, som tidligere var fundet ved Bajkalsøen i Sibirien i Rusland. Analyser af DNA fra dette skelet viste, at drengens folk, der var nærtbeslægtet med nutidens europæere, mødte andre folk af asiatisk oprindelse og havde sex med dem midt i isørkenen. De fælles gener blev båret videre på den lange fodrejse til nutidens Amerika, hvor man i dag kan finde arvemateriale fra denne gruppe mennesker i nutidens amerikanske indianere.

At arbejde med gammelt DNA

Forskningen inden for fossilt DNA begyndte i 1980'erne, og siden 1990'erne er det for alvor gået stærk med udviklingen inden for området. Det har vist sig, at gammelt DNA bogstaveligt talt findes overalt – og det kan fx udvindes fra museumsgenstande som knogler og hår eller direkte fra jord, vand eller is.

Under de rette omstændigheder kan DNA bevares over lang tid. Faktorer som temperatur, pH og fugtighed er med til at bestemme hvor hurtigt DNA nedbrydes. Jo koldere og tørrere omgivelser, jo længere kan DNA bevares. Det ældste DNA, der indtil nu er udvundet, er ca. 800.000 år gammelt og stammer fra en grønlandsk iskerne.

Det er let at forurene prøver med nutidigt DNA, og derfor skal man være omhyggelig med at sikre, at det er det "rigtige" DNA, man har fat i. I nogle tilfælde kan prøven renses for nutidigt DNA. Det gælder fx gammelt hår, som ikke er porøst ligesom knogler og tænder. Det betyder, at forureningen sidder på ydersiden og derfor kan vaskes af.

For andre typer materiale må forureningen håndteres bioinformatisk. Det betyder, at man identificerer DNA med bestemte



typer skader, der er karakteristiske for gammelt materiale.

Arbejdet med DNA'et går ud på at sekventere det (dvs. bestemme rækkefølgen af de fire DNA-baser A, T, C og G) og derefter sammenligne det med nutidigt DNA og DNA fra andre gamle fund for at afsløre forskelle og ligheder.

Eske Willerslev i færd med at udtage prøver til DNA-analyse fra Sedimenter i Pearyland, Nordgrønland i 2006.

Foto: Kurt Kjær.

Det betyder, at den amerikanske indvandringshistorie må skrives om, og at den amerikanske selvforståelse har fået sig lidt af et chok.

DNA-profil af en uddød menneskegruppe

I 2010 publicerede Eske Willerslev og hans ph.d.-studerende Morten Rasmussen et forskningsresultat, der gav genlyd verden over. Som de første nogensinde havde de to danske forskere genskabt genomet (arvemassen) hos en for længst uddød mand og dermed fremtryllet et billede af, hvordan denne fortidsmand så ud i levende live.

Manden tilhørte den såkaldte Saqqaq-kultur. Han levede i Nordvestgrønland for ca. 4.000 år siden, inden han sammen med sine stammefæller bukkede under for det barske og kolde klima og dermed forsvandt ud af historien uden at efterlade sig andet personligt visitkort end en hårtot.

Hårtotten blev fundet i et lag permafrost ved Diskobugten i 1986 sammen med andre ting fra Saqqaq-kulturen. Arkæologer kunne gennem kulstof-14-analyser fastslå, at hårtotten var ca. 4.000 år gammel. Men længere kom de ikke i deres forsøg på at tegne et billede af manden.

Hårtotten blev derefter lagt på hylden i et magasin på Nationalmuseet i København og levede en hengemt tilværelse i magasinerne, indtil Eske Wil-

lerslev ved et tilfælde mere end ti år senere kom på sporet af den.

Gennem DNA-sekventeringer, computerteknikker og biokemiske processer af hårtotten lykkedes det Eske Willerslev og Morten Rasmussen at genskabe et næsten identisk billede af manden, som forskerne døbte Inuk (menneske på grønlandsk). Både hvordan Inuk fysisk havde set ud i levende live og hvilke skavanker, han gik rundt med, inden han døde i isørkenen. Forskerne kunne i detaljer fortælle, at Inuk var lille og tætbygget, havde brune øjne og skovlformede fortænder, blodtype A+ og tendens til skaldethed og tør ørevoks. Han ville måske også være begyndt at drikke alkohol i større mængder, hvis den berusende drik havde været tilgængelige i det kolde og øde Grønland på daværende tidspunkt, konkluderede forskerne.

Hvem var USA's første præsident egentlig?

Den revolutionerende opdagelse og den nye teknik vakte ikke kun opsigt i videnskabelige kredse. Det betød også, at Eske Willerslev blev bestormet med tilbud om at analysere hårtotter og andet materiale fra fortiden for at tegne et billede af nogle af historiens store personligheder.

»Der var fx en privatperson i USA som havde et portræt af den første amerikanske præsident George Washington da USA løsrev sig fra Eng-

← Professor Eske Willerslev er en af verdens førende forskere inden for geogenetik og fossilt DNA. Til daglig er han leder af Grundforskningscenter for Geogenetik på Statens Naturhistoriske Museum på Københavns Universitet. Det eneste center af slagsen på verdensplan.

Foto: Mikal Schlosser

Videre læsning
<http://geogenetics.ku.dk>



Når man indsamler prøver til analyse for gammelt DNA, er det meget let at forurene prøver med ens eget DNA. Derfor optræder forskerne ofte i "rumdragter" selv under arbejdet i den frie natur.

Foto: Kurt Kjær, SNM

land i 1776. Dengang var det almindeligt at man på bagsiden – under rammen af portrættet – satte en hårtot af den portrætterede person. Derfor ville manden i USA have os til at analysere Washingtons hårtot. Det ville være meget interessant at få Washington og andre amerikanske præsidenter DNA-analyseret og på den måde supplere historiebøgerne med "inside viden". Men der skete så meget andet på det tidspunkt, så det blev ikke til noget.

Men "Hårtotten fra Grønland" åbnede en ladeport for at dykke ned i fortiden og gøre den levende på en ny måde. Tænk bare på alt det materiale og udstillede genstande – fx menneskeknogler og dyrestre – der befinder sig rundt om på alverdens museer eller ligger gemt i ruiner eller i jorden. Det er kun fantasien, pengene og arbejdstiden som sætter grænser for, hvad der er muligt indenfor dette felt. Teknikken stormer derudad, så mulighederne bliver flere og flere. I dag handler det i høj grad som forsker indenfor mit felt at få "den gode ide" eller tænke i skæve baner, så man bagefter kan sige "Ja – selvfølgelig. Det er værd at undersøge. Lad os gå i gang". Men det kræver selvfølgelig tid og penge, siger professor Willerslev.

Uddøde dyr i levende live

Men her stopper udviklingen ikke. I fremtiden vil det nok også blive muligt at genskabe uddøde eller udryddede dyr, mener Eske Willerslev. Altså en pendant til romanen og filmen *Jurassic Park*,

hvor det er dinosaurer, der genoplives i forskernes laboratorier.

»Så galt som i *Jurassic park* går det nok ikke i virkeligheden, men jeg tror, at vi om 40-50 år kan genoplive fx nogle af de dyr som vi mennesker selv har udryddet. Moralsk kan jeg ikke se noget galt i fx at vække den udryddede moa-fugl fra New Zealand til live igen, mens det til gengæld harmer mig, hvordan vi producerer slagtesvin og kyllinger i dag.

Dér, hvor jeg sætter grænsen, er at genoplive fortidsmennesker i en fremtidsverden. Men hvem ved! Teknikken stormer derudad. Derfor bliver der en masse moralske spørgsmål, som vi skal tage stilling til, inden vi ender i det rene kaos på det punkt. Både på det personlige plan og i en større samfundsmæssig sammenhæng«, understreger Eske Willerslev.

Uanset om genoplivning af fortidsdyr forbliver science fiction eller ej, er Eske Willerslev ikke i tvivl om at de nærmeste år vil byde på endnu flere opdagelser der vil rukke ved vores selvforståelse. Fordi vi nu er i stand til at dykke mere præcist ned i fortiden, vil vi kunne give bedre svar på hvor ens eller forskellige, vi er som mennesker.

»Eller sagt på en anden måde: Stammer vi alle sammen fra de samme forhistoriske mennesker her på kloden, eller er der forskelle på os moderne mennesker?«, siger Eske Willerslev. ■

Opdagelser med gammelt DNA

Nedenfor er en række eksempler på forskningsresultater som Eske Willerslev og kolleger har opnået ved at analysere gammelt DNA:

Indvandring i USA:

Finder ud af i 2013, at nutidens indianere i USA har europæisk arvedmateriale i sig. Det vender op og ned på den amerikanske indvandringshistorie og selvforståelse. Tidligere har professor Willerslev i flere omgange bevis på, at de første mennesker befolkede USA mindst 1.000 år tidligere end hidtil antaget. Det ældste menneske-DNA i Nordamerika fandt forskerne i mere end 14.000 år gammel afføring. Opdagelserne ændrede ved den gængse opfattelse af, hvordan menneskene befolkede Amerika.

Inuk:

De første til at sammensætte arvemassen fra et uddødt fortidsmenneske (Inuk fra Grønland) – ud fra en enkelt hårtot.

Aboriginerne:

De første til at sammensætte arvemassen fra Australiens

urbefolkning. Det afslørede samtidig, at aboriginerne, som de kaldes, også stod for en tidligere udvandring fra Afrika end andre nutidige mennesker i Europa og Asien.

Yngste mammut-dna:

Finder ud af, at mammutten overlevede flere tusind år efter menneskene kom ind i Nordamerika. Opdagelsen ændrede ved den gængse opfattelse af, at mennesket slog mammutten ihjel inden for kort tid efter, at de var ankommet til det amerikanske kontinent.

Årsag til de store istidsdyrs uddøden:

Finder frem til at klimaet og ikke mennesker er den væsentligste årsag til, at 2/3 af de store pattedyr uddøde på den nordlige halvkugle.

Oprindelsen af de nordiske jægere og samlere:

Finder ud af, at de første mennesker i Skandinavien er beslægtede med østeuropæere og russere, mens at landbruget kommer til Skandinavien med indvandrere sydfra, der minder om grækere. Nutidens skandinaver er en blanding af disse.



Tegning af hvordan manden Inuk – som levede for ca. 4.000 år siden – kan have set ud. Analyser af hans DNA kunne afsløre mange detaljer om hans fysiske tilstand.

Illustration: Nuka Godtfredsen



ULANDENE SULTER

**Hjælp med at finde de rigtige løsninger.
Bliv Geograf på Aalborg Universitet.**

Naturkatastrofer er med til at skabe hungersnød. Men hvordan skaffer vi mad og drikkevand nok til alle – globalt og på den lange bane?

Som Geograf på Aalborg Universitet er du med til at udvikle løsninger inden for natur, miljø og samfund i en international, national og lokal sammenhæng.

Hvilke problemer vil du være med til at løse?



WWW.GEOGRAFI.AAU.DK

Hvad er der i vejen med forhistorien?



Illustration: Johannes O. V. Larsen

Det er på tide, at vi gør op med den gammeldags opdeling af menneskets historie i "historie" og "forhistorie". I stedet bør vi anlægge et fagligt bredere syn på menneskets historie, der inviterer hele paletten af "fortidsmennesker" til at blive en del af vor egen historie.

Historien er nærværende. Der går ikke en uge uden en eller anden journalist eller politiker bliver grebet af dens vingesus – eller sin egen selvfejring – og erklærer det ene efter det andet for historiske øjeblikke. I dag tror vi, at vi kan mærke historien, når den sker. Vi ved, hvad det er. Og som oplyste mennesker ved vi også, at før historien kom forhistorisk tid. Der er altså historie og forhistorie.

Men hvad vil det egentlig sige? Hvor går grænsen

mellem historie og forhistorie? Hvordan definerer vi den? Og hvem fandt egentlig på det? Før vi når til svaret, er der dog en vi skal møde.

Besøg fra en fjern slægtning

Forestil dig, at du fik besøg af en *Homo heidelbergensis*. Ville I have noget at dele? Uden tvivl er han dig fremmed. Men hvor meget? Ville du kunne genkende ham som en fjern slægtning, eller ville du se ham som en underudviklet halvabe?



Nøglebegivenheder
i menneskets
store historie

Han ville gå på to ben. Hans hjerne ville blot være umærkeligt mindre end din, og han ville nok være en lille smule lavere end dig. Han kunne bruge redskaber, måske bruge rød farve til at pynte sig med, og det kunne oven i købet være at han havde en slags sprog. Det store spørgsmål er: Hvor forskellige og hvor ens ville I være?

Tid og fælles historie

Det er svært at forholde sig til tidsafstande på flere millioner år. Men det er vi nødt til, når vi ser på os selv i et evolutionært perspektiv. Menneskets store historie strækker sig gennem vores egen art, der opstod i Afrika for omkring 200.000 år siden, til andre menneskearter der levede langt tidligere. *Homo heidelbergensis* var en af dem og en sandsynlig fælles stamart til både moderne mennesker og neandertalere. De var selv sandsynlige efterkommere fra *Homo erectus*, der var den første menneskeart, som forlod det afrikanske kontinent på et tidspunkt for mellem 1,8 og 2 millioner år siden. Tidligere var der andre forfædre. Vi er resultatet af en lang kompleks og dyb historie. Men når vi traditionelt har fortalt vores egen historie, har vi delt den i to.

Nogenlunde samtidig med, at man i 1800-tallet opdagede jordens og menneskeslægtes dybe alder, fandt man en måde at undgå den på. Man kaldte hele det nye tidsrum for *forhistorie*. Historievidenskaben blev grundlagt som en disciplin, der koncentrerede sig om skrevne dokumenter, hvilket passede fint med, at skriften først blev opfundet for ca. 6.000 år siden. Ikke helt tilfældigt passede det også perfekt på den bibelske kronologi, så man kunne beholde en stor civilisationshistorisk fortælling, der både geografisk og tidsmæssigt var behagelig velkendt.

Samtidig forestillede man sig det tidlige stenalder-

menneske som et dumt og uciviliseret væsen, der ikke havde nogen plads i menneskets *rigtige* historie. Det kommer stadig til udtryk i det klassiske billede af hulemanden: En primitiv type, der slæber rundt på en stor kølle, som han slår folk i hovedet med.

Vores videnskabelige billede af menneskets tidligere slægtninge er imidlertid et helt andet i dag. Nu ved vi fx, at den menneskelige hjerne nåede sin maksimale størrelse allerede for flere hundrede tusinde år siden, og at vi på en række punkter langt fra er så unikke, som vi har gået og bildt os selv og hinanden ind. Så nok er de andre menneskearter os fremmede – men ikke så fremmede, at vi ikke ville have noget at mødes om. Så hvorfor ikke gøre dem til en del af vores historie?

Homo heidelbergensis til middag

Spørgsmålet er så, hvordan vi kan relatere til mennesker, der levede for over en halv million år siden? Selvom vi er forskellige, ville vi alligevel have meget til fælles. Allerede for 2,5 millioner år siden var menneskearter begyndt at bruge redskaber – opfindelsen af håndøkse er ca. 1 million år gammel – og for mindst 800.000 og måske op til 1,8 millioner år siden begyndte mennesker at tænde bål og bruge det til madlavning.

Tilberedt mad er nemmere at spise, og det er lettere at optage energien. Vores hjerner er dyre i drift, faktisk det tredjedyreste organ, vi har, efter leveren og den muskelgruppe, der bevæger og støtter skelettet og som udgør ca. halvdelen af vores kropsvægt. Et nyere studie viser effekten af tilberedt mad for vores hjerner. Jo flere aktive neuroner, man har i hjernen, jo mere energi er der brug for. Og den energi får man lettest gennem tilberedt mad. Hvis vi med vores krops- og hjernestørrelse alene skulle leve af

Forfatterne



Julie Lykke Jensen er cand.mag. i kunsthistorie fra Institut for Æstetik og Kommunikation, Aarhus Universitet. stud20073256@hum.au.dk



Peter C. Kjærgaard er professor i evolutionstudier og leder af Centre for Biocultural History, Aarhus Universitet. kjærgaard@cas.au.dk



Artiklens hovedpersoner

Homo Heidelbergensis

En sandsynlig stamart til både *Homo neanderthalensis* og *Homo sapiens* som levede for mellem 200.000 og 600.000 år siden i Afrika og Europa. *Homo Heidelbergensis* var den første "kosmopolitiske" art og var udbredt over store dele af Den Gamle Verden herunder i hvert fald Asien til og med Indien og muligvis også udbredt til Kina. Robust bygget, forholdsvis højere, større pande og et fladere ansigt end hos tidligere menneskearter. Kraniekapacitet inden for normalen for nulevende mennesker. Gennemsnittet for *heidelbergensis* målt ud fra de fundne kranier er ca. 1.200 ml mod *Homo sapiens'* ca. 1.350 ml. Kulturelt har vi sikre spor af brug af ild, holdbare stenredskaber og træspyd. De var sandsynligvis altædende, og man har fundet spor af kannibalisme.

Homo Sapiens

Den eneste nulevende art af *Homo*-slægten opstod i Afrika for omkring 200.000 år siden og spredte sig for 60-70.000 år siden gradvist til resten af verden. Lidt mindre kranium end neandertalere og et mindre robust skelet end både neandertalere og *Homo heidelbergensis*. Altædende med føde af dyr, vilde planter og afgrøder. Specialiseret værktøj, brug af ild, primitive bebyggelser, omfangsrige sociale netværk og en kompleks symbolsk verden.

Rekonstruktion af *Homo heidelbergensis* udstillet på Smithsonian Museum of Natural History i Washington.

Foto: Tim Evanson

rå mad, ville det være nødvendigt for os at spise i minimum 9 timer dagligt. Det er fysisk umuligt over en længere periode for langt de fleste. Moderne mennesker har altså ikke længere en krop, der er tilpasset en udelukkende rå diæt. Faktisk kan det være direkte skadeligt for hjernens udvikling at lade børn vokse op uden at få tilberedt mad.

Så hvis du skulle få besøg af en *Homo heidelbergensis*, kunne du godt invitere på middag. Menneskelig kultur er tæt forbundet med madlavning. Vigtige sociale strukturer blev bygget op omkring ildstedet. Ilden skulle passes, den gav varme og beskyttelse, og den kom til at udgøre et naturligt centrum for samlivet. Med bålet og tilberedningen af mad blev det at spise en social begivenhed, der var bundet til et sted og et tidspunkt. Frem til i dag indtager måltidet således en vigtig rituel og social betydning, som rækker langt ud over det blotte behov for næring. Det gør den for os. Og det gjorde den for flere tidlige menneskearter.

Kød på bordet

Du ville heller ikke gå helt galt i byen, hvis du bød din fjerne slægtning på kød. Menneskearter har spist kød i mindst 2,5 millioner år – og det i højere

grad end andre primater. Selv chimpanser, som er menneskets nærmeste nulevende slægtning, spiser kun sjældent kød. For at kunne jage de store dyr måtte mennesker kunne arbejde sammen i grupper, og muligvis har den krævende jagt bidraget til at udvikle den menneskelige fantasi. Mennesker er hverken særligt hurtige eller stærke og har ingen skarpe tænder. Derfor måtte de forudse et dyrs bevægelsesmønster og koordinere jagt og angreb for at være i stand til at nedlægge det. Man måtte med andre ord kunne forestille sig noget, der endnu ikke var nærværende for sanserne.

Den ekstra energi, som mennesker kunne optage i kroppen, fordi de spiste kød, understøttede udviklingen af en stor hjerne. Med 20 % af energiforbruget og kun ca. 2 % af kropsvægten er moderne menneskers hjerner topscorere sammen med neandertaleres. Men *Homo heidelbergensis* kommer lige efter og ville også have brug for masser af energi til den dyre grå masse.

Kan man være historieløs?

Hele vores store evolutionære hominin-familie inkluderer blandt andre australopithecinerne og

hele Homo-slægten med *Homo habilis*, *Homo erectus*, *Homo heidelbergensis*, *Homo neanderthalensis*, *Homo floresiensis*, *Denisovaer* og *Homo sapiens*. Kun de færreste vil benægte slægtskabet. Alligevel inviterer vi dem ikke med i vores historie. Den er forbedret menneskets nyere historie. Selv vores egen arts stenaldermennesker, de første mennesker i Danmark eksempelvis, er henvist til forhistorien, denne store uorganiserede masse af tid og menneskearter, der går rigtig langt tilbage i den dybe fortid.

Men hvorfor nu det?

Et af argumenterne har været, at der til *rigtig* historie hører skriftlige kilder. Historien begynder med skriftsproget. Alting før det er forhistorie. Men kan det nu også være rigtigt? Hvad med alle de folk i eksempelvis Afrika, Asien og Sydamerika, der ikke har haft et skriftsprog, før de fik påtvunget det af europæiske kolonimagter? Og hvad med de landbefolkninger, der udgjorde langt den største del af den europæiske befolkning i middelalderen, som vi ved eksisterede men ikke selv har efterladt et skriftspor? Og hvad med de mange folk, der gennem tiden er taget som slaver? Har de heller ingen historie?

Det er der heldigvis kun meget få, der mener. Vi har ingen problemer med at give disse skriftløse folk historie. Hvorfor kan vi så ikke give det til andre, tidlige menneskegrupper?

Det er der ingen principielle grunde til. Forhistorien er slet og ret en opfindelse, en uhensigtsmæssig grænse, der har til formål at privilegere den store

eurocentriske civilisationshistorie, der startede i Mellemøsten og gennem det såkaldte græske mirakel førte til den europæiske kulturs triumf og globale dominans. Den fortæller en skæv historie på baggrund af en kristen tradition og er fuld af blinde pletter. Men vigtigst af alt så er den forkert.

Dyb historie

Det er på tide at vi gør op med den gammeldags og religiøst funderede opdeling af menneskets historie i "historie" og "forhistorie". Der er mange akademiske fag, der beskæftiger sig med kronologiske forløb. De deler sig i kultur- og naturhistoriske discipliner. Selvom de er forskellige og har deres faglige traditioner og metoder, så er de fælles om at skrive menneskets historie over tid. Det gælder blandt andet antropologi, arkæologi, evolutionsbiologi, genetik, geologi, humanistiske historiefag, og palæontologi. Menneskets historie er den samlede historie med data og resultater fra alle disse fag.

En kombination af skriftlige kilder, fossiler, redskaber, husholdningsgenstande, billeder, strukturer, miljømæssige forandringer og genetiske variationer danner baggrund for en dybere historieskrivning. Det er en historieskrivning, der ikke fremhæver bestemte personligheder og begivenheder, men i stedet afdækker generelle tendenser og strukturer og har fokus på udveksling, sammenhæng og slægtskab. Det er en historie, hvor vi alle er med. Og på den måde kan vi lade forhistorien være netop det den er: forhistorie. ■

Videre læsning:

Andre Shryock & Daniel Lord Smail, *Deep History: The Architecture of Past and Present*, University of California Press 2012.

Centre for Biocultural History: bioculture.au.dk.

ANNONCE

Kære Sciencetalent

Naturvidenskab på Syddansk Universitet støtter dig, som har deltaget i et af ScienceTalent-programmerne ved Mærsk Mc-Kinney Møller Videncenter, med merit på 5 ECTS.

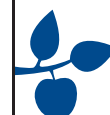
Efter optagelse på et naturvidenskabeligt studium ved Syddansk Universitet fritages du fra den obligatoriske studiestartsopgave. I stedet laver du et oplæg til et selvstændigt miniforskningsprojekt, der leder frem til det afsluttende projekt på 1. året. Du arbejder selvstændigt og får sparring fra en forsker inden for det område, som du brænder for.

Merit gives til alle, der gennem ScienceTaler har gennemført et af følgende programmer: MasterClass Fysik, ScienceTalent College, ScienceTalent College Industries, MasterClass Matematik eller FusionsKlassen.

Har du spørgsmål til ovenstående eller til vores uddannelser, er du velkommen til at kontakte vores studievejledere på tlf. 6550 4387 eller e-mail: studyscience@sdu.dk

Med venlig hilsen

Claus Michelsen
Prodekan, Det Naturvidenskabelige Fakultet



SYDDANSK UNIVERSITET
UNIVERSITY OF SOUTHERN DENMARK

Morgendagens skærm er optisk

Forskere ved DTU har udviklet en ny type touch-skærm der er styret af optisk teknologi. Den er billigere at producere og på flere punkter bedre end de skærme vi kender fra smartphones og tablets – bl.a. kan den også fungere under vand.



Forfatteren

Carsten Broder Hansen er kommunikationskonsulent ved DTU Transport. Desuden freelance videnskabsjournalist og fotograf.
chan@transport.dtu.dk

Ideen til en ny skærmtype går tilbage til 2007, da Jørgen Korsgaard, direktør i elektronikvirksomheden OPDI, var på et af sine mange besøg hos DTU Fotonik. Her fortalte han, at touch-funktionen på hans nyindkøbte komfur ikke fungerede, når komfurets overflade blev våd. Det er selvsagt u hensigtsmæssigt for et apparat beregnet til madlavning. Forskerne fra DTU Fotonik tog udfordringen op, og da den første iPhone med touch-screen samtidig ramte verden, forekom det umiddelbart oplagt at satse på at udvikle en løsning, der kunne anvendes i alle former for touch-styrede produkter. Forskerne kunne for nylig præsentere en prototype på en fuldt funktionsdygtig optisk skærm, og et eksporteventyr er pludselig inden for rækkevidde.

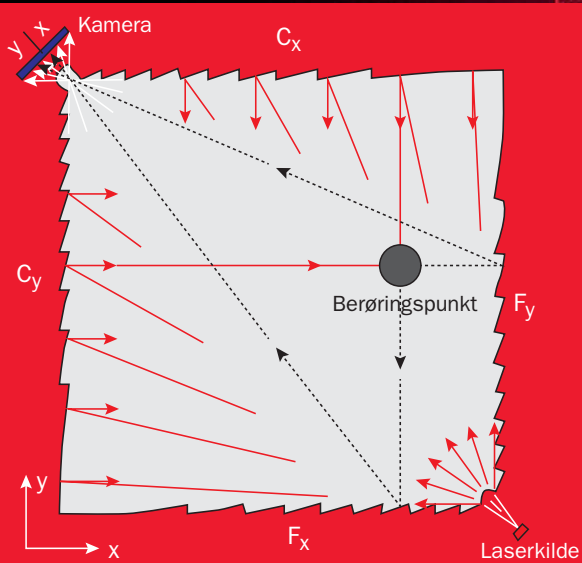
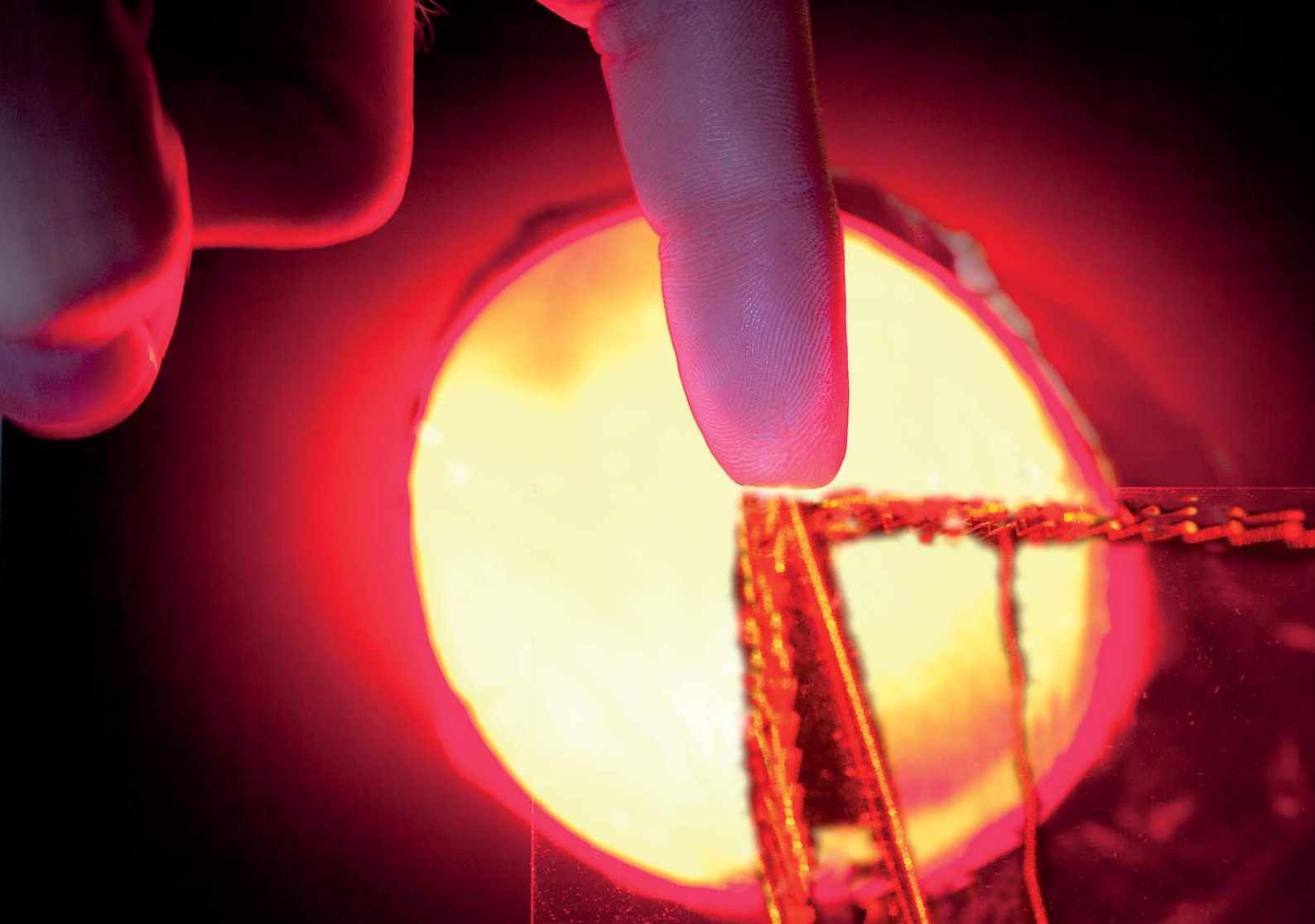
Optisk styring

Den optiske WaveTouch-skærm fungerer med laser som lyskilde. Fra et af skærmens hjørner udsendes lys fra laserkilden. Lyset rammer en indstøbt spredelinse, der reflekterer lyset rundt i den plastplade, der er den funktionelle del af WaveTouch (se figur). I hjørnet modsat laserkilden sidder et mikrokamera, som opfatter hvor i pladen, det reflekterede lys stammer fra. Når en styrende finger rammer touch-skærmen, afbrydes laserlyset, og kameraet kan så opfatte præcist hvor i det indbyggede koordinatsystem, afbrydelsen er foregået. Dette oversættes til en impuls, der registreres på skærmen. Funktionen er derfor helt sammenlignelig med den måde, man

betjener sin almindelige smartphone-skærm, men i stedet for elektroner er det lys, der bevæger sig i skærmens plan. De mange års udviklingsaktiviteter har udmøntet sig dels i prototypen på en skærm med WaveTouch teknologi, dels i fem patenter.

Virker under vand

I laboratoriet på DTU Fotonik gør seniorforsker Henrik Chresten Pedersen sig klar til at demonstrere, hvordan WaveTouch fungerer. Henrik er, sammen med forskningsspecialist Steen Grüner Hanson og seniorforsker Michael Linde Jakobsen, teamet bag opfindelsen. Prototypen, hvor WaveTouch-teknikken er indlejret, ligner mest af alt en madkasse. Selve den trykfølsomme plade har oven i købet fået påført en tragt af tape, så det samlede indtryk er en hel del fra den elegante finish, man kender fra moderne smartphones og tablets. Ikke desto mindre kan prototypen noget ganske overraskende. Det bliver klart, da Henrik Chresten Pedersen hælder vand i "tragten" og efterfølgende lader fingeren glide over den vanddækkede touch-pad, hvorefter bogstaverne "DTU" dukker frem på displayet. En trykfølsom skærm, der fungerer under vand, er ikke længere science fiction. Skærmen kan uden yderligere tilpasninger bruges i regnvejr hvorimod andre skærmtyper ophører med at fungere, når den første dråbe rammer. Den nye skærm har således indlysende muligheder i forbindelse med brugerflader i alle udendørs digitale informationsstandere.



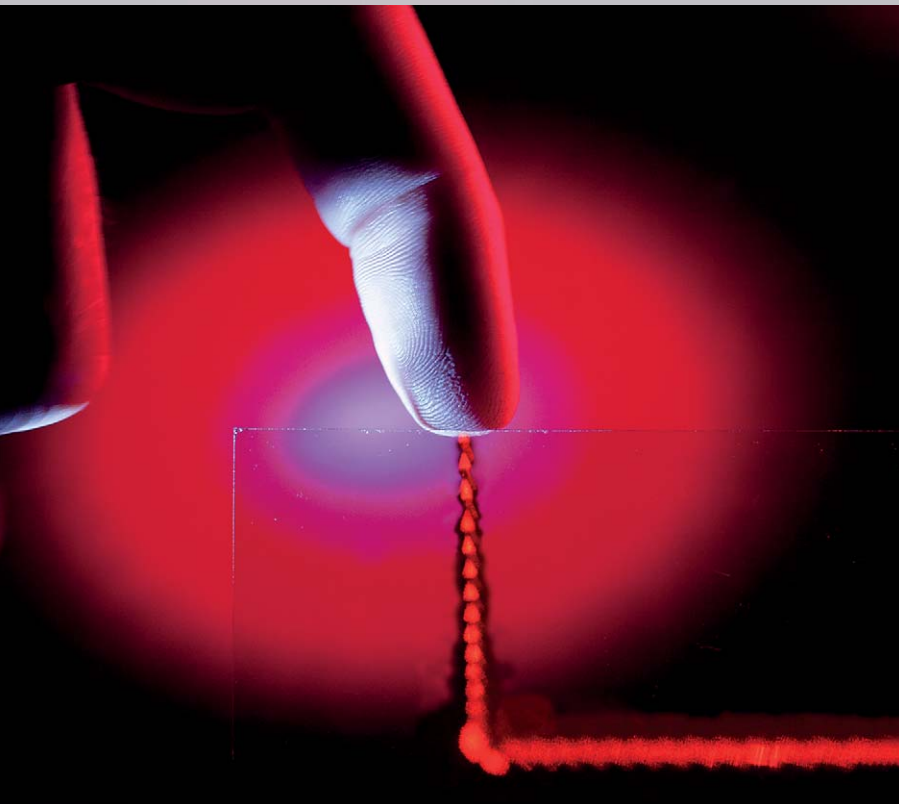
WaveTouch-skærmens funktion. Laserkilden udsender lys, der opfanges af indstøbte reflektorer (C og F), der sender lyset videre rundt i den specielt udformede plastkonstruktion. Her opfanges lyset af et kamera, der omsætter informationen til punkter i et koordinatsystem. Når en finger berører skærmen, afbrydes lysstrålen hvilket "oversættes" til en impuls på displayet.

→ Prototypen på WaveTouch-skærmen med den nye banebrydende optiske styring. Skærme baseret på denne teknologi er billigere at fremstille og på en række punkter smartere end skærmene, man kender fra nutidens smartphones og tablets.

Fotos: Carsten Broder Hansen



↑ Når en finger berører skærmen afbrydes laserlyset. Kameraet, der er placeret modsat laserkilden, aflæser præcist hvor i det integrerede koordinatsystem, afbrydelsen er foregået.



Konkurrencedygtig produktionspris

Skærme til traditionelle smartphones og tablets består af flere lag glas. De er opbygget i en "sandwich-struktur", hvor der imellem glassdelene er placeret andre lag bestående af tynde gennemsigtige metalgitre. Når man berører det øverste glas, ændres de elektriske egenskaber i metallagene, og derved skabes den nødvendige impuls. Det er imidlertid kostbart og vanskeligt at fremstille skærme med lag af metal og glas, og fejlprocenten er høj, så mange af nutidens skærme må kasseres efter produktionsprocessen. Henrik Chresten Pedersen forklarer at fordi WaveTouch-skærmen fungerer ved hjælp af laserlys, kan den opbygges af blot et enkelt lag støbt plast. Den er derfor væsentlig billigere at producere end andre skærmtyper. Ydermere har metallaget i almindelige smartphone-skærme et stort indhold af det sjældne grundstof indium, der er velegnet til at fremstille gennemsigtige elektroder, men som efterhånden er blevet en meget knap ressource. Indium er kostbart, og kinesiske elektronikvirksomheder har allerede opkøbt langt det meste af verdens kendte indium-reserver. Derfor må man forvente en endnu større produktionspris på almindelige skærmtyper fremover.

Forbedret signalmodtagelse

Henrik Chresten Pedersen fortæller, at også når det gælder størrelse, har traditionelle skærmproducenter et problem. Fordi opbygningen i glas/metallag er uhyre kompleks, betyder det, at jo større en "sandwich-skærm", der skal konstrueres, jo større er risikoen for fejl i produktionen. WaveTouch-skærmen kan derimod umiddelbart skaleres til alle størrel-

ser. Det kræver blot en ændring af støbeformen for at producere enten en skærm til et lommekamera eller en skærm på størrelse med et biograflærred, og fejlrisikoen er ikke væsentlig større ved større produkter. Som toppen af kranssekagen har WaveTouch endnu en fordel frem for almindelige skærme: Eftersom metal nemt kan forstyrre modtagelsen af trådløse signaler, må antennerne på smartphones konstrueres rundt om skærmen for at fungere. Det giver nogle designmæssige udfordringer, og alligevel er modtagelsen ikke altid optimal. WaveTouch-teknologien virker i plastikstøbte skærme, og derved bliver det muligt at gennemføre helt andre designløsninger. Man må forvente, at de færdige apparater baseret på WaveTouch-teknologien får bedre signalmodtagelse og bedre GPS-funktioner end tilsvarende traditionelle skærme.

Kostbar plaststøbning

Alt dette lyder jo næsten for godt til at være sandt, og ifølge Henrik Chresten Pedersen er der da også en væsentlig forhindring på vejen mod WaveTouch-teknologiens globale gennembrud. Da forskerne skulle konstruere prototypen, fandt de ud af, at skræddersyede støbeforme til plastproduktion er uhyre kostbare. Alene formen til prototypen kostede omkring 300.000 kr. Det ville selvfølgelig være smart for WaveTouch-skærmes kommercielle muligheder, hvis støbeforme kunne produceres billigt, og derfor har DTU Fotonik sammen med OPDI og andre erhvervspartnerne startet et projekt, der netop sigter mod at reducere produktionsomkostningerne for danske plastvirksomheder.

Kinesisk partnerskab og introduktion på verdensmarkedet

Ud over at være direktør i OPDI er Jørgen Korsgaard også direktør i et nyt dansk-kinesisk datterselskab, O-Net WaveTouch Ltd., der er etableret for at kunne bringe WaveTouch fra prototype til færdige displaymoduler. Ifølge Jørgen Korsgaard ejer OPDI 60 % af aktierne, og den kinesiske virksomhed O-Net Kommunikation ejer 40 %. Til det nye datterselskab har OPDI leveret rettighederne til WaveTouch-teknologien i form af i alt 7 patenter, mens O-Net Kommunikation har indskudt 17 mio. kr. samt de produktionsfaciliteter, der er nødvendige for at fremstille touch-modulerne. Af de syv patenter, der er kernen i WaveTouch, er de fem rene DTU-patenter udviklet af DTU Fotonik. De sidste to patenter er udviklet af OPDI, hvor DTU også ejer en andel. Selv om det ifølge Jørgen Korsgaard kun er tre af patenterne, som er virkelig essentielle for teknologien, er de øvrige patenter nødvendige som "forsvarsbastion", der skal gøre WaveTouch robust over for kopiering af systemets kernefunktion. Målet er inden udgangen af 2013 at igangsætte en egentlig produktion af 3-5 forskellige touch-moduler der, alt efter specifikation, kommer til at indgå i forskellige færdige elektroniske produkter. ■

Yderligere oplysninger:

Seniorforsker Henrik Chresten Pedersen
hpe@fotonik.dtu.dk

Seniorforsker Michael Linde Jakobsen
mlja@fotonik.dtu.dk

Forskningspecialist Steen Grüner Hanson
vsgh@fotonik.dtu.dk



Pierre Deligne og norske kong Harald under prisuddelingen i Norge.

Foto: Heiko Junge/NTB Scanpix

Abelpris til Pierre Deligne for banebrydende matematisk rapsodi om de algebraiske ligningers geometri

Matematikkens “nobelpris” – Abelprisen – gik i 2013 til den belgiske matematiker Pierre Deligne, ikke mindst for hans løsning af en berømt formodning af André Weil fra 1949. Vi kigger her nærmere på prismodtageren og hans arbejde.

Forfattere



Vagn Lundsgaard Hansen er professor emeritus. vlha@dtu.dk



Poul G. Hjorth er lektor. pghj@dtu.dk

Begge ved Institut for Matematik og Computer Science, Danmarks Tekniske Universitet.

Pierre Deligne er en stjerne i den matematiske verden, men der er ikke mange, der vil kunne nævne et specifikt af hans resultater endside forklare dets indhold. I år har han så opnået den ypperste hædersbevisning ved at få tildelt Abelprisen – en pris, der hvert år uddeles af Det Kgl. Norske Videnskabernes Selskab. Pierre Deligne har i sin forskning ydet banebrydende bidrag til et af de vanskeligst tilgængelige områder i matematikken, nemlig algebraisk geometri. Og han har tilsat sine undersøgelser komplicerede tankegange og teorier fra algebraisk topologi, som heller ikke er for nybegyndere. I forbindelse med præsentati-

onen af Deligne og hans bidrag til algebraisk geometri under Abel-festlighederne i Oslo i maj 2013, fik man et stærkt indtryk af Pierre Deligne som en beskeden og ydmyg forsker, der lever og ånder for sin matematik.

Tidligt i gang

Allerede da Pierre Deligne var omkring 12 år, begyndte han at læse i sin brors matematikbøger fra universitetet og søgte ivrigt efter at forstå og finde forklaringer på det, han læste. Hans interesse for matematik blev yderligere vakt, da en gymnasielærer lånte ham flere bind af en berømt serie af fran-



Pierre Deligne

Om Pierre Deligne

Pierre Deligne er født den 3. oktober 1944 i kommunen Etterbeek i den belgiske hovedstad Bruxelles. Som den yngste nogensinde blev Deligne i 1970 udnævnt til permanent medlem af staben ved det ansete franske forskningsinstitut *Institut des Hautes Études Scientifiques* i forstaden Bures sur Yvette til Paris. I 1984 blev han desuden ansat som professor (nu emeritus) ved School of Mathematics ved det berømte *Institute for Advanced Study* i Princeton, New Jersey, USA.

Bourbaki: Matematikeren der aldrig var

Omkring midten af forrige århundrede begyndte der i Frankrig at blive udgivet en række lærebøger hvis forfatter blev anført som "N. Bourbaki". Disse lærebøger fremstiller matematik på en uhyre stram, streng, grundig og logisk form der endnu i dag har så ikonisk karakter at man blandt matematikere taler om Bourbaki-skolen, om en Bourbaki-agtig fremstilling af et emne, osv.

N. Bourbaki eksisterer imidlertid ikke som enkelt person. Det er et pseudonym for en gruppe af matematikere (tællende navne som Henri Cartan og André Weil) der i 1930'erne i fællesskab besluttede at udgive en stringent samlet fremstilling af moderne matematik. Der er ikke helt enighed om hvorfor gruppen valgte navnet "N. Bourbaki" som pseudonym. Der fandtes i 1800-tallet en general med samme efternavn, men denne havde ingen speciel matematisk aktivitet eller interesse. Det har også været foreslået at det græsk klingende navn skulle give mindelser om Euklid, og lærebøgernes undertitel (*Éléments de Mathématique*) er i hvert fald konsistent med dette. Der er frem til i dag udgivet i alt 9 bind som stadig (af en fornyet Bourbaki-gruppe) revideres og udvides.



Forsiden til Bind 1: Mængdelære

ske monografier *Éléments de Mathématique*, som tager alle matematikkens discipliner op til behandling i et samtidigt perspektiv. Monografierne blev udformet af et hemmeligholdt kollektiv af eminente franske matematikere, som skrev under pseudonymet Nicolas Bourbaki (se faktaboks). Bøgerne er gennemarbejdede til det perfektionistiske og er på et overordentlig højt abstraktionsniveau. Det er bestemt ikke den slags læsestof, man normalt vil drømme om at tilbyde en 14-årig, men for Deligne blev det et vendepunkt i hans liv. Fra da af levede og åndede han kun for matematik. Ja, i en sådan grad, at han i et interview ved Abel-festlighederne i Oslo lod forstå, at matematik betyder mere for ham end selv hans nærmeste familie.

Pierre Delignes far ønskede, at den højt begavede søn skulle uddanne sig til ingeniør, så han kunne få en karriere, der ville give ham en god indtægt. Men Pierre var ikke spor optaget af livets materielle goder. Han kastede sig i stedet over sin store liden-

skab og valgte at studere matematik ved *Université Libre de Bruxelles*. Her modtog han bachelorgraden i 1966 og doktorgraden i 1968.

Deligne havde oprindeligt indskrevet sig ved universitetet med en ambition om at blive gymnasielærer og så i øvrigt dyrke matematik ved siden af som en hobby for sin egen personlige fornøjelse. Men da han ved universitetet hurtigt kom under vingerne af den berømte belgiske matematiker Jacques Tits (der i 2008 sammen med John Griggs Thompson modtog Abelprisen for banebrydende bidrag til gruppeteori) gik det op for Deligne »... at han kunne tjene sit daglige brød ved at lege, dvs. ved at udføre forskning i matematik«, som han selv har udtrykt det.

Efter at have erhvervet doktorgraden i 1968 tog Pierre Deligne på anbefaling af Tits til Paris for at studere ved den navnkundige franske matematiker Jean-Pierre Serre (der i 2003 modtog den første Abelpris). Hos Serre fandt Deligne nye inspirationer i algebra og topologi, og han kom også i kontakt med den sagnomspundne matematiker Alexander Grothendieck, der var samtidens store ikon i algebraisk geometri. Det gik godt for Deligne, og i 1972 modtog han doktorgraden *Doctorat d'Étatès Sciences Mathématiques* fra *Université Paris-Sud 11*.

Pierre Delignes matematiske verden

I begrundelsen for tildelingen af prisen fra Abelkomiteen hedder det, at Pierre Deligne modtager Abelprisen i 2013 »for meget betydningsfulde bidrag til algebraisk geometri, og for disse bidrags gennemgribende indflydelse på talteori, repræsentationsteori og relaterede områder.«

Vi skal nu kort beskrive nogle af de emner, der omtales i begrundelsen. Delignes forskning er i sidste ende knyttet til studier af løsningsmængder for ligninger defineret ved algebraiske udtryk, såkaldte algebraiske ligninger. Mere præcist er en *algebraisk ligning* en ligning defineret ved et polynomium i et antal variable. Eksempelvis er

$$3x^2 - 2xy^2 + yz^4 = 2$$

en algebraisk ligning i de tre variable x, y, z af femte grad, idet yz^4 har graden $1+4 = 5$ og er leddet af højeste grad i de variable.

Algebraisk geometri kan kort beskrives som studiet af geometriske objekter defineret ved algebraiske ligninger, såkaldte *algebraiske varieteter*. For algebraiske ligninger i to variable taler man om *algebraiske kurver*.

Mange kendte geometriske objekter kan beskrives ved algebraiske ligninger. Eksempelvis kan en cirkel med radius 1 beskrives ved andengradsligningen $x^2 + y^2 = 1$, når vi i en plan indlægger et sæd-

vanligt retvinklet koordinatsystem med de reelle tal x og y som koordinater.

Deligne studerer imidlertid ikke alene algebraiske ligninger over de reelle tal men også over andre tal-systemer, såkaldte *tallegemer*, der har regneoperationer addition og multiplikation, som vi kender det fra de reelle tal.

Det er et yderst vanskeligt problem at holde styr på antallet af løsninger til en algebraisk ligning af vilkårlig grad over et vilkårligt tallegeme. Problemet har imidlertid ikke afskrækket Deligne og det er bl.a. på dette område, han har ydet de banebrydende bidrag, der indbragte ham Abelprisen.

Pierre Delignes store bedrift

Blandt Delignes bedst kendte bedrifter er hans afklaring af den sidste og dybeste af fire formodninger fremsat i 1949 af den berømte fransk-amerikanske matematiker André Weil (1906-1998) om løsninger til algebraiske ligninger over *endelige tallegemer* (se faktaboks på web).

I sine undersøgelser af algebraiske ligninger i to variable over endelige tallegemer havde André Weil opnået interessante resultater om antallet af løsninger til sådanne ligninger. Han havde med andre ord fået styr på geometrien af algebraiske kurver over endelige tallegemer. Men han kunne ikke finde passende metoder til at tælle antallet af løsninger til algebraiske ligninger i tre eller flere variable over endelige tallegemer og dermed altså heller ikke få styr på geometrien af de tilhørende algebraiske varieteter. På baggrund af sine mange undersøgelser fremsatte Weil i 1949 fire formodninger om antallet af løsninger til algebraiske ligninger over endelige tallegemer, der blev kendt som de fire *Weil-formodninger*.

Tre af de fire Weil formodninger blev bevist inden for de første 10-15 år efter, at Weil havde publiceret sine resultater om algebraiske kurver over endelige tallegemer. Den sidste af formodningerne, som er ækvivalent med en formulering af den berømte *Riemann-hypotesen* specielt for algebraiske varieteter over endelige tallegemer, blev bevist af Pierre Deligne i 1974 i en bedrift, der straks bragte ham helt frem i den matematiske elite.

I 1949 var *kohomologi* et relativt nyt matematisk værktøj udviklet inden for det matematiske område *algebraisk topologi* til at forstå og systematisere viden om geometriske former og strukturer. André Weil var overbevist om, at kohomologi var vejen frem til at bevise Riemann-hypotesen for algebraiske varieteter over endelige tallegemer. Da han fremsatte sine formodninger, var der imidlertid ingen, som kendte en kohomologi, der kunne forbinde geometriske aspekter ved algebraiske varieteter med aritmetiske aspekter knyttet til løsning

af algebraiske ligninger over endelige tallegemer. Weil havde ikke selv noget forslag til, hvordan man kunne definere en sådan kohomologi, men han vidste hvilke egenskaber, den skulle have, for at den kunne føre til et bevis for Riemann-hypotesen for algebraiske varieteter over endelige tallegemer. Den af Weil efterspurgt, spøgelsesagtige kohomologi blev kendt under navnet *Weil-kohomologi*.

Begyndelsen til en afklaring af den sidste af Weils formodninger kom i 1960. Her indførte den sagnomspundne statsløse matematiker Alexander Grothendieck, som er bosat i Frankrig, et nyt begreb *étale cohomology* i algebraisk geometri som han foreslog som kandidat til en Weil-kohomologi. Problemet var dermed flyttet hen til at vise, at Grothendiecks nye kohomologi opfyldte kravene til at kunne være den efterspurgt Weil-kohomologi.

Det var Grothendieck ikke selv i stand til at gøre, men heldigvis var Pierre Deligne dukket op i Paris i 1968, hvor han lærte om Grothendiecks kohomologi. Og hvad der ikke lykkedes for Grothendieck lykkedes for den unge Pierre Deligne. Ved meget komplicerede argumenter baseret på adskillige tidligere opdagelser af andre matematikere beviste Pierre Deligne i 1974 Weil-formodningerne helt generelt.

En stor Abelpris-modtager

Pierre Deligne modtog den særdeles prestigefyldte Fields Medalje ved den Internationale Kongres for Matematikere afholdt i Helsingfors i 1978. Denne udmærkelse er kun en af en række af priser og udmærkelser Deligne har modtaget for sine bidrag til matematik.

I 2004 modtog han således Balzan Prisen i Matematik. I fondatsen for denne pris, som er på 1 million Schweizerfranc, står der, at halvdelen af pengene skal bruges på unge forskere. Deligne valgte at oprette treårige forskningslegater til at støtte aktive unge matematikere i Rusland, Ukraine og Hviderusland.

I 2006 blev Deligne af Kong Albert II af Belgien udnævnt til Viscount, og det Belgiske postvæsen udstedte samme år et frimærke til hans ære for banebrydende bidrag til matematisk grundforskning.

Pierre Delignes foretrukne arbejdssted er en seng med papirer spredt ud over sengen. Når han skal slappe af, dyrker han sin have med stor ildhu, og han har en have i tilknytning til sine boliger både i Princeton og i Bures-sur-Yvette. Han kører yderst sjældent i bil og foretrækker cykling og vandreture. Pierre Deligne lever og ånder for sin matematik, og han vil – som han gjorde det med Balzan Prisen – bruge en stor del af Abelprisen til at støtte yngre matematikere i taknemmelighed over den støtte, han selv modtog i starten af sin karriere. ■

Videre læsning

"The Abel Prize 2013",
Abelprisens hjemmeside:
www.abelprize.no

M. Raussen og C. Skau:
"Interview with Abel Laureate Pierre Deligne",
Newsletter European
Mathematical Society,
Volume 89, september
2013, 15-23.
[www.ems-ph.org/
journals/newsletter/
pdf/2013-09-89.pdf](http://www.ems-ph.org/journals/newsletter/pdf/2013-09-89.pdf)

Link til faktaboks:

**Algebraiske ligninger
over endelige tallegemer:**
[http://aktuelnaturvidens-
skab.dk/nyeste-numre/
6-2013](http://aktuelnaturvidenskab.dk/nyeste-numre/6-2013) → **abelpris**



**ABEL
PRISEN**

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 og Britta Munter

Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S

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

Oplag: 8.800

Omslagsfoto:

Gamle knogler klargøres til datering.

Foto: Jørgen Dahlgaard.



Fagpanel

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

- **Flemming Besenbacher**, professor, Interdisciplinært Nanoscience Center (iNANO), Aarhus Universitet
- **Claus Hviid Christensen**, senior manager, Innovationscenter, Dong Energy
- **Jesper Dahlgaard, ph.d.**, Aarhus Universitetshospital og Psykologisk Institut, Aarhus Universitet.
- **Ture Damhus**, Kemiker ved Novozymes samt formand for Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg
- **Søren B. F. Dorch**, astrofysiker ph.d., 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
- **Anne Mette K. Jørgensen**, leder af Danmarks Klimacenter, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Peter C. Kjærgaard**, professor, Institut for Kultur og Samfund, Aarhus Universitet
- **Gunnar Larsen**, geolog, NIRAS.
- **Bent Lauge Madsen**, biolog (pensioneret fra Miljøministeriet).
- **Sebastian H. Mernild**, Klima- og Polarforsker, 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
 red@aktuelnaturvidenskab.dk
 eller på tlf. 70 25 55 12.

Abonnementsservice

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

Kontakt abonnementsservice på

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

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

Adgang til pdf-udgave

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

Brugernavn: aktuel-nr6

Kodeord: vnn58pre

Du logger på via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk hvor du vælger punktet "Nyeste numre" (6-2013). 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.

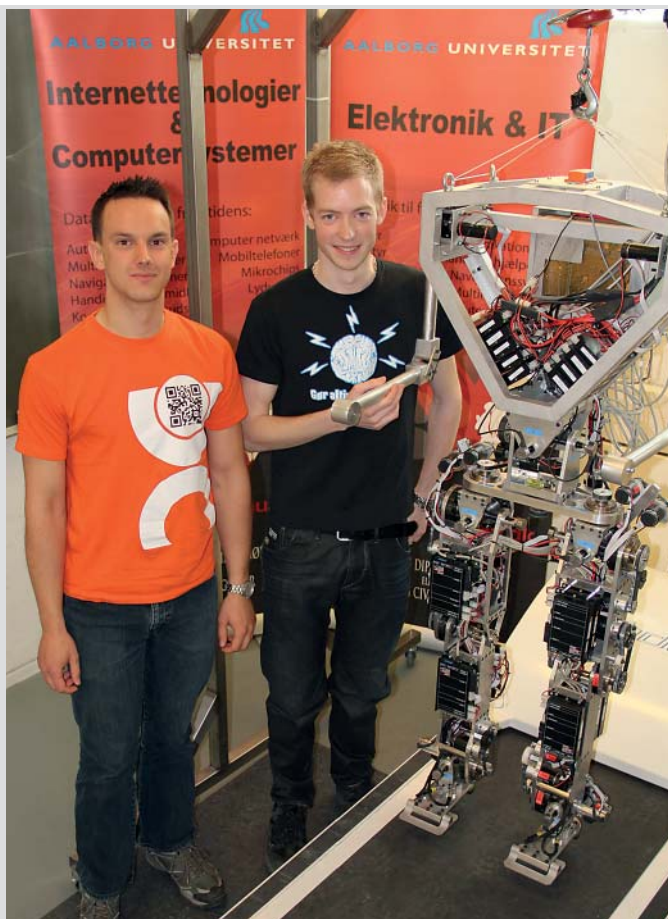
Se mere på: aktuelnaturvidenskab.dk

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/>



AAU-BOT1 sammen med Niels H. Andersen (TV) og Rune Madsen (th), to af de studerende på Elektronik & IT uddannelsen, der var med til at få robotten til at gå ved hjælp af avanceret reguleringsteori.

Foto: Carsten Nielsen, AAU

Robot på catwalken

Af Carsten R. Kjaer

med fjedre og andre dele der ikke er forfinet ved millioner af års evolution, er det afgørende at den går på den måde der belaster mindst.

En læreproces

Resultatet af Aalborg-forskernes anstrengelser blev den måbende danske verdenspresse præsenteret for i maj måned hvor robotten AAU-BOT1 tog nogle forsigtige skridt på en dertil indrettet "catwalk" på Institut for Elektroniske Systemer. Interessen var stor da der var tale om den første danskbyggede, gående robot i verdenshistorien. Og selvom robotten af statur umiddelbart minder om en bredskuldret bodybuildertype, går den altså udpræget feminint.

Arbejdet med at designe og bygge robotten havde stået på siden 2006 hvor Jakob Stoustrup havde besluttet at bruge en forskningspris fra Dannin-fonden til at bygge en gående robot i menneskestørrelse. At det skulle tage mere end 6 år fortæller at det bare er ualmindeligt svært at efterligne menneskelig gang med robotter. I dag findes der spektakulære eksempler på robotter der kan gå og bevæge sig yderst menneskeligt, endda gå henover murbrokker uden at skvatte. Men her er der også tale om multimillionprojekter med mange års udvikling i bagagen.

Ideen med AAU-BOT1 var at ekspertisen skulle opbygges fra bunden i en læreproces – og med et budget der var en brøkdel af hvad en sådan opgave normalt kræver. Robotten blev derfor bygget som en række projektføløb udført af studerende ved Aalborg Universitet.

Robotter og digitalure

Jakob Stoustrup fortæller at arbejdet med robotten har givet studerende og ansatte ved Institut for Elektroniske Systemer en masse værdifulde erfaringer som nu skal udnyttes dels til at konstruere andre robotter, dels til helt andre ting. »Apollo-missionerne kastede en masse afledte teknologier af sig som madrasser, digitalure, brændselsceller mv., som er blevet brugt til alt muligt andet end rumfart. På samme måde vil erfaringerne fra regulering af så kompliceret et system som AAU-BOT1 kunne overføres til brug af reguleringsteori for helt andre typer af systemer, som fx fremtidens intelligente elsystem«, slutter Jakob Stoustrup. ■

Vil I bygge en gående robot? Så skal den gå som en kvinde!« Det var fysiologernes budskab til de ivrige forskere og studerende der havde sat sig for at bygge en gående robot på Aalborg Universitet. »Det betød at vi måtte skrotte alle vores målinger som vi møjsommeligt havde udført på mandlige studerende og starte forfra med nye målinger på kvinder«, fortæller Jakob Stoustrup der er professor ved Institut for Elektroniske Systemer.

»Og da vi foreslog finmekanikerne at robotten skulle kunne holde til ca. 10.000 timers gang, slog de blot en hånlatter op. "Glem det, I må nøjes med 100 timer", sagde de.« Det slider nemlig gevaldigt på metal-delene i en robot at gå som et menneske. Efter 100 timers brug vil kritiske dele begynde at bryde sammen pga. metaltræthed. Så det var endnu en rigtig god grund til at robotten skulle gå som en kvinde. »For der er bogstaveligt talt mere gang i kvinder – i hvert fald når man taler om robotter«, siger Jakob Stoustrup.

Hemmeligheden bag kvinders langtidsholdbare gang er at de er meget bedre til at holde deres massemidtpunkt over ganglinjen fordi de bruger hoftelæddet på en anden måde end mænd. Det er ikke det store problem for mænd da vi i kroppen fx har ligamenter der er geniale til at fordele de mekaniske kræfter. Men for en gående robot som må forsynes