

2018

geoviden

GEOLOGI OG GEOGRAFI NR. 02



Geoarkæologi

Geologi + Arkæologi = Geoarkæologi

I dette hæfte præsenteres historier med nye og banebrydende forskningsresultater opnået i samarbejdet mellem geologer og arkæologer. Naturvidenskabelige analyser fra lasere til latriner og fra små molekyler til store sensorer flytter hele tiden ved forståelsen af Danmarks historie og landets forhistorie.

Geoarkæologi er endnu ikke et veldefineret fagområde. Området omfatter en række felter, hvor geologiske metoder bruges til at belyse arkæologiske problemstillinger – og ofte den anden vej rundt. I de seneste år har der således været en rivende udvikling af nye banebrydende analytiske metoder inden for geokemi, geofysik, remote sensing, undersøgelse af mikroskopiske rester af dyr og planter, DNA og meget mere. Det har givet os muligheder for at følge menneskets spor i en helt ny og hidtil ukendt grad af detaljer - i både tid og rum. Man kalder sågar samarbejdet mellem naturvidenskab og arkæologi for 'high-definition' arkæologi.

Resultaterne opstår i et samarbejde mellem arkæologer og geologer og resulterer i ny

viden om vores nære geologiske fortid, som hverken geologer eller arkæologer kunne opnå alene. Mange spørgsmål om samspillet mellem mennesker og naturen igennem tiden kan nu forstås mere præcist eller fakta-tjekkes. Fra hvor neandertalere kunne have sat deres fødder her i landet, over systematiske tilgange til vores talrige spor fra menneskets aktiviteter i forhistorisk tid, til sandhedstjek af, hvad tidlige historiske kilder påstår – for sejrherre og magtens mænd skriver jo som bekendt ofte historien.

I dette hæfte vil vi vise nogle få af de mange nye spændende resultater. Nye metoder med laser-scanning af hele landet fra fly viser forbausende detaljer om jernalderbøndernes marker,

og hvordan geofysiske undersøgelser udført oven på jorden afslører hidtil ukendte forhold ved Vikingetidens ringborge og forhistoriske landskaber, brugt i særprægede ritualer. Avancerede geokemiske metoder fortæller også om, hvor dagligdags materialer såsom metal og glas kom fra, og om de handelsveje, som købmændene færdedes langs. Isotoper i knogler og tænder afslører menneskernes vandringer og giver os dermed et indblik i fortidens skikke og traditioner. Rester af DNA og proteiner fortæller om varer, mennesker og dyr i fortiden, mens et sandkorns begravelse giver den vigtige kronologiske ramme. Sågar fortidens toiletvaner kan sladre om anlægs oprindelse og parasitinfektioner. Blad videre og bliv klogere på vores fælles fortid.



Forfattere: SMK, GHB, BVO.

GEOVIDEN har tidligere – i nummer 2, 2016 – bragt en artikel om et samarbejdsprojekt mellem geologer og arkæologer. Her var det maringeologer, der samarbejdede med marinarkæologer om en kortlægning af et areal på havbunden ud for Tudsehage ved Sjællands storebæltskyst, hvor der findes et 7.000 år

gammelt bopladsområde. Der blev på basis af maringeologiske undersøgelser (seismisk kortlægning, boringer mv.) opstillet en terrænmodel for området, som dokumenterede den nu druknede kystlinjes forandringer fra 9.000 til 6.000 år før nu. Det gjorde det lettere at lokalisere eventuelle bopladsområder og

fokusere de tidskrævende og omstændelige undervandsudgravninger. Samarbejdsprojektet var del af et større europæisk projekt, SAS-MAP, som også beskrives i bladet.



Redaktøren.

Billedet viser et potteskår med røde og sorte pigmenter fra Nasca-indianerne i Peru. Pigmenterne blev lavet ved at brænde keramikken med mineraler fra jernåre. Jern-isotop-analyser viser, at jernet til det røde og sorte pigment må være kommet fra to forskellige miner, på trods af at Nasca-indianerne kunne have lavet begge slags pigmenter af den samme jernåre. Isotopsammensætningen af grundstoffer såsom strontium, neodym, jern eller bly i arkæologiske genstande er således en slags fingeraftryk, der fortæller om deres oprindelse, geologiske bestanddele og eventuelle senere forstyrrelser. Isotoper måles på et Multi Collector-ICP masse-spektrometer. Se også artiklen s. 4 - 5.

Foto: Jelmer Eerkens, UC Davis.



Bladets forfattere, alfabetisk efter fornavn. Ved artiklerne er forfatterne angivet med initialer.

Anders V Christiansen
Lektor, IG
anders.vest@geo.au.dk

Andrew Murray
Professor, Nordisk Lab. for Luminescensdatering, IG
andrew.murray@geo.au.dk

Bent V. Odgaard
Professor, IG
bvo@geo.au.dk

Charles E. Lesher
Professor, IG
lesher@geo.au.dk

David Stott
Arkæologisk IT
Moesgaard Museum
ds@moesgaardmuseum.dk

Gry H. Barfod
Adjunkt, IG
grybarfod@geo.au.dk

Hannes Schroeder
Adjunkt, SNM
hschroeder@snm.ku.dk

Jan-Pieter Buylaert
Lektor, Nordisk Lab. for Luminescensdatering, IG
jabu@dtu.dk

Jesper Olsen
Lektor, Inst. for Fysik og Astronomi, AU
jesper.olsen@phys.au.dk

Karin M. Frei
Forskningsprofessor, Nationalmuseet
Karin.M.Frei@natmus.dk

Luise Ø. Brandt
Adjunkt, Center for Urban Netværk Evolution (UrbNet), AU
luise.brandt@cas.au.dk

Matthew J. Collins
Professor, SNM
matthew.collins@snm.ku.dk

Mikkel W. Pedersen
Post doc, University of Cambridge (tidl. SNM)
mp849@cam.ac.uk

Peter Steen Henriksen
Museumsinspektør, Nationalmuseet
peter.steen.henriksen@natmus.dk

Renée Enevold
Pollenanalytiker, Moesgaard Museum,
re@moesgaardmuseum.dk

Robert Frei
Professor, IGN
robertf@ign.ku.dk

Søren M. Kristiansen
Lektor, IG & Center for Urban Netværk Evolution (UrbNet)
Smk@geo.au.dk

Thomas Ljungberg
Videnskabelig assistent, IG
Tel@geo.au.dk

Baggrundsfoto på samtlige sider er fra Alken Enge.
Foto: Ejvind Hertz, Skanderborg Museum.

Vejen frem er på tværs: Arkæometri

Arkæometri omfatter geokemisk datering af arkæologisk materiale (især metal, glas og keramik), men også kemisk bestemmelse af materialets oprindelse og fremstillingsteknikker eller senere processer såsom genopsmeltning. En række arkæometriske metoder er for nyligt blevet brugt til at undersøge arkæologiske genstande i samarbejde mellem AGiR (Aarhus Geochemistry and Isotope Research Platform, Geoscience, Aarhus Universitet) og arkæologer fra hhv. UrbNet (Centre for Urban Network Evolutions) og Sydvestjyske museer (Ribe).

Røntgenfluorescens og giftige farver i vægmalerier

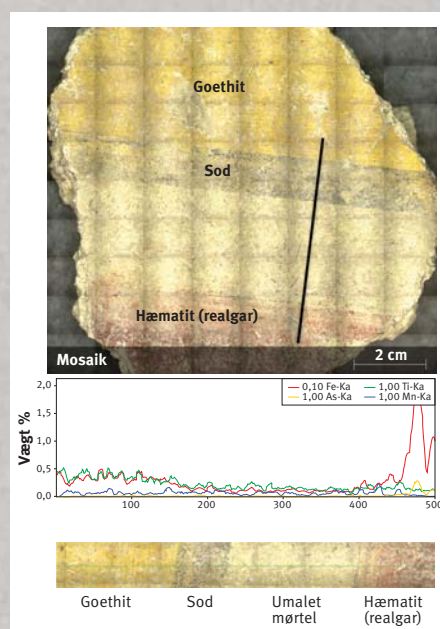
Mikro-røntgenfluorescens (μ -XRF) bruges til at analysere den kemiske sammensætning af en genstands overflade ved at skyde på den med en røntgenstråle, som slår elektroner ud af atomernes inderste elektronbaner. Når disse elektroner erstattes af elektroner fra atomets ydre baner udsendes sekundære røntgenstråler, der er karakteristiske for hvert enkelt grundstof i prøven. Derved kan man ikke blot bestemme prøvens kemiske sammensætning men også kortlægge områder med forskellige sammensætninger.

I det nordlige Jordan lå Geresá, det nuværende Jerash, som var en vigtig by i udkanten af Romerriget. Her viser XRF-undersøgelser af vægmalerier fordelingen af grundstoffer i de forskellige pigmenter, hovedsageligt de samme, som havde været i brug siden stenalderen: okker til brune, røde og gule farver, trækul til sorte og kalk til hvide. Analyserne viser dog også, at selv her så langt fra Rom nåede de værdifulde (og giftige!) pigmenter som det kunstige minium (bly-oxid) og realgar (arsenik-sulfid) frem. Som så meget andet i livet, jo giftigere, jo smukkere – og således også med pigmenter; minium og realgar giver henholdsvis dybe orange og røde farver, se figur 1.

Elektron-mikrosonden og vikingernes blå glas

Elektron-mikrosonden skyder på prøven med en elektronstråle, hvorved røntgenstråler udsendes, når en elektron fra elektronstrålen

bytter plads med en elektron i grundstofferne. Disse 'udstødte' elektroner rammer derefter en krystal, som drejes således, at der kun op-



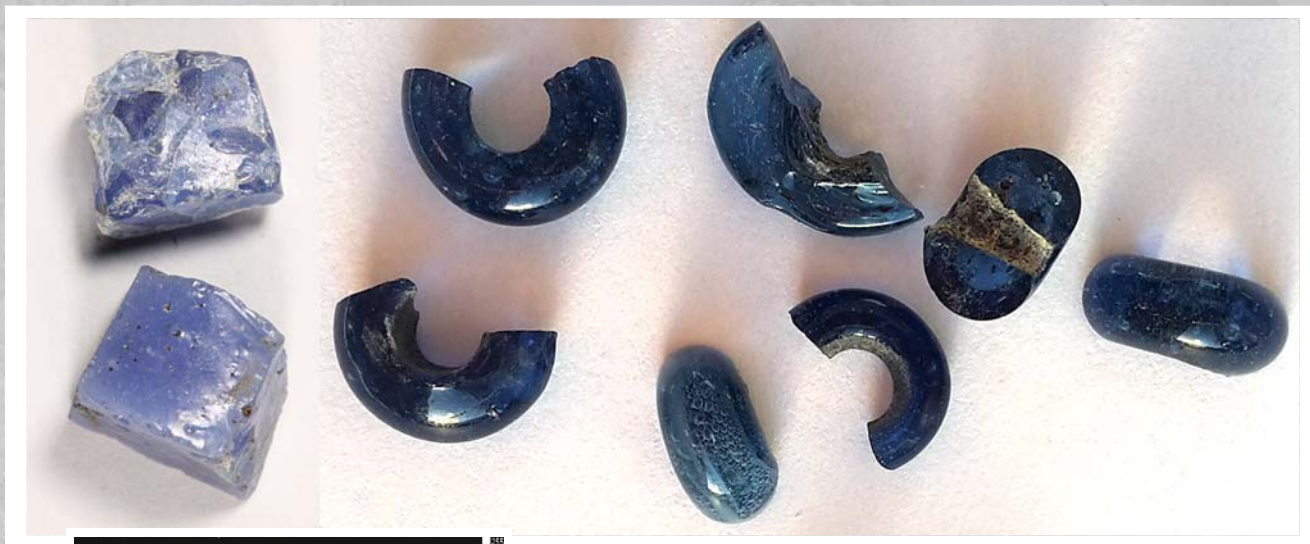
Figur 1. Mikro-XRF oversigtsbillede af et fragment fra et vægmaleri fra tidligt islamisk hus udgravet af UrbNet i Jerash, Jordan. Linjescan på tværs af dette fragment langs den sorte linje i oversigtsbilledet viser, at farverne bestod af mineralerne goethit (jernhydroxid = gul), trækul (=sort), mørtel (ikke bemalet område) samt jernglans iblandet det giftige realgar (jernoxid og arseniksulfid). Nederste billede viser fordelingen af grundstofferne jern (Fe=rød), arsenik (As=gul), titanium (Ti=grøn) og mangan (Mn=blå). Samlet viser det, at vægmaleriet skiller sig ud, ved at de rene mineraler jernglans og goethit blev brugt til rød og gul, mens disse farver typisk var lavet af okker, der ud over disse mineraler også indeholder ler.

samles én bestemt bølgelængde ad gangen (og derved måles ét grundstof ad gangen). Metoden kræver, at der er en vis mængde til stede og bruges derfor til analyser af et materiales hovedbestanddele, men kan analysere områder ned til få nanometer med meget høj opløsning. Den bruges også til at lave kontrastbilleder af mineraler eller kemi i prøven. Jo tungere grundstoffer, jo flere elektroner tilbagekastes, og jo lysere fremkommer disse områder på billedet. Billedet reflekterer derfor især densitetsforskelle i prøven.

Nordens første by, Ribe, blev grundlagt omkring år 700 og er især kendt for sin handelsplads, som bestod af værksteder langs åen, hvor der blev lavet og handlet glasperler, lertøj og metalgenstande såsom de velkendte vikingespænder og brocher. De gode aflejnings- og bevaringsforhold i Ribe giver helt enestående muligheder for at undersøge, hvornår og hvorfra nye materialer dukkede op. Mikrosondeanalyser af glas fra et af de allertidligste blå perleværksteder viser, at glasset var gammelt genbrugsglas, som kan spores tilbage til den romerske glasproduktion i det nuværende Israel. Det var således flere hundrede år gammelt glas fra nedrevne mosaikker, som nåede Ribe i slutningen af 700-tallet, hvor det blev omsmeltet til blå perler, se figur 2 og 3.

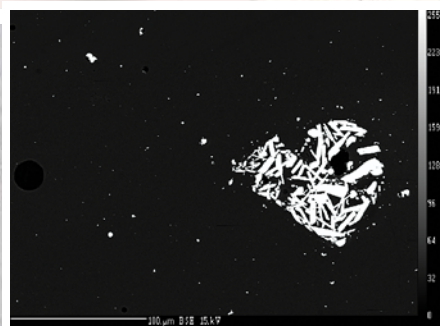
Induktivt koblet plasma-massespektrometer og falske komet-smeltedråber

Grundstoffer kan bestemmes i selv meget små mængder med induktivt koblet plasma-massespektrometer (ICP-MS). Ved analysen opløses et lille stykke prøve, som opvarmes til temperaturer svarende til solens overflade (6.000–10.000°C), hvorved alle molekyler sprænges til ioner. Et laserablations-instrument kan tilsluttes foran massespektrometeret, og derved kan



Figur 2. Firkantede glasmosaikstykker (tv), som de så ud, når de ankom til Ribe efter at være revet ned fra romerske bygninger. I Ribe blev de omsmeltede til blå perler (th).

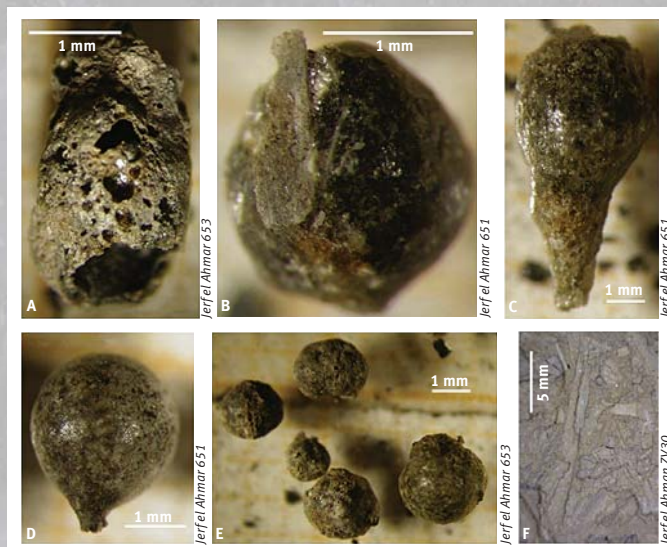
Foto: Sydvestjyske museer i Ribe.



Figur 3. Kontrastbillede fra elektron-mikrosonden af en glasmosaik fra et af de ældste værksteder i vikingebyen Ribe. Hjerterformet aggregat af kalciumantimonat-krydstaller viser, hvordan romerne lavede opakt (uigennem-sigtigt) glas, nemlig ved at tilsætte nok af grundstoffet antimon (Sb) til, at det reagerede med kalcium i glasset og dannede krystaller, som gjorde glasset opakt.

Figur 4. Smeltdråber fra Jordan dannet ved brand i et hus for 13.000 år siden og ikke, som foreslået tidligere, fra et kometnedslag i perioden Yngre Dryas.

Foto: Peter Thy, UC Davis.



en arkæologisk genstand måles ved at skyde et hul på få mikro-meter i prøven. Laseren kan således bruges til at analysere de grundstoffer, som kun er til stede i meget små mængder uden at prøven går til og desuden undersøge relative ændringer i kemi på tværs af prøven.

En amerikansk forskergruppe har ment, at små smeltdråber fra 13.000 år gamle arkæologiske lag i Syrien stammer fra en komet, som skulle have eksploderet over Nordamerika og ført til, at mammuter og sabeltigre uddøde. Ved brug af laserablations-metoden har det

imidlertid kunnet påvises, at dråberne fra lagene i Syrien *ikke* kan stamme fra en komet: dels fordi der findes identiske dråber i både yngre og ældre lag og intet i dråbernes kemi peger på en komet, dels fordi deres tekstur og kemi viser, at de blev dannet ved temperaturer, som var betydelig lavere end forventet ved et kometnedslag, se figur 4.

Vejen frem

Der er uanede muligheder for arkæometriske studier ved brug af de teknikker, vi har præ-

senteret her eller ved andre geologiske og geokemiske metoder. Det er vigtigt at disse metoder kombineres, så spørgsmål kan belyses fra mange forskellige vinkler. Vejen frem er samarbejde, hvor mødet mellem disciplinerne åbner op for diskussioner om, hvad der kan lade sig gøre, og hvad man gerne vil opnå.



Forfattere: GHB, CEL.

Fortidens landskab set fra oven

Det landskab vi i dag ser fra bilruden, har langt fra altid set sådan ud. Med helt nye metoder kan vi helt uden at grave afkode de tidligere, nu 'skjulte' landskaber. Her viser vi bl.a., at de nye avancerede metoder kan bruges til at afdække, hvordan nu forsvundne bakker blev brugt til fæstninger i fortiden og til at afsløre unikke spor i fortidens landskab fra dagligdags gøremål som korndyrkning i jernalderen.

Det er svært at forestille sig, at de regelret afgrænsede marker, byer og skove vi ser i dag, for blot 200 år siden var en uensartet mosaik af små jordlodder, græsningsoverdrev, søer, moser, enge, krat og skov, skabt og formet af menneskers udnyttelse af naturen gennem årtusinder. Vegetation, vådområder og endda selve jordoverfladens niveau kan være markant ændret. Ikke bare naturlige processer men også menneskers gøren og laden har nemlig omformet overfladen af Danmark langt mere, end man skulle tro. Her stiller vi skarpt på, hvordan de nyeste metoder ikke kun kan afdække, *hvordan* fortidens landskab så ud, men også hvordan vores forfædre *brugte* det.

Fra mark til skov og hede

I skov- og hedeområder har jordoverfladen ofte ligget mere eller mindre uberørt hen i århundreder eller endog årtusinder, og her kan man fortsat bedst finde velbevarede aftryk af forhistoriske anvendelser. Arkæologer har siden 1920'erne majsommeligt kortlagt små firkantede jordstykker omkranset af næsten usynlige 10–30 cm høje volde eller terrasser, såkaldte digevoldinger, som vi i dag ved er afgrænsninger af bronze- eller jernaldermarker. Et landsdækkende fintmasket digitalt 'net' af meget nøjagtige højdemålinger med laserscanninger fra fly (se boks om Lidar) muliggør, at vi i dag vha. computeren langt lettere kan finde

og kortlægge disse forhistoriske markssystemer. Og det gælder ikke kun, hvor de fortsat ses i landskabet, men også hvor senere tiders dyrkning næsten har udvisket dem, se figur 1.

Fortidens marker er oftest kun bevaret i områder, som ud fra et moderne landbrugsmæssigt synspunkt er af ringe kvalitet eller besværlige at dyrke, altså sandjord eller arealer på stejle skråninger. Men i bronze- og især jernalderen har man formentlig nærmest dækket disse dele af landet med små marker, bl.a. fordi de naturligt var veldrænede og lette at jordbearbejde. I dag er de kendte jernaldermarker fredede fortidsminder, og med de nye præcise højdemodel-kort kan vi nu bedre sikre, at man kan beskytte denne del af vores fælles kulturarv.

Ud over marker kan også spor efter gårde findes med avancerede geofysiske metoder. Præcise målinger af jordens magnetiske egen-



Figur 1. Visualisering (Local Dominance) i grå nuancer, som er lagt oven på en farvelægning af selve landskabets højder, og begge baseret på Lidar-data (se boks om Lidar) af Silkeborg Vesterskov. På det indsatte detailkort ses tydeligt spor af menneskers påvirkning af området som jernalderens markskel, hulveje og også moderne drængrøfter o.l. De utallige små hvide pletter skyldes ikke 'dårlig billedkvalitet', men derimod små forhøjninger som træstubbe, sten og myretuer.

Figur 2. Kort med magnetometer-målinger fra overfladen af en jernalder-landsby ved Ørre i Vestjylland som ellers ikke kan ses på nutidens marker her. Jordens magnetiske egenskaber på denne sandjord viser tydeligt de gamle gårde og andre menneskeskabte anlæg.

Illustration og copyright: Mikkel Fuglsang, Museum Midtjylland.

skaber kan nemlig i heldige tilfælde bruges til – helt uden at grave – at påvise fortidens marker, huse, ovne og ildsteder (se boks om magnetometri). Når jorden varmes op, skabes og efterlades der nemlig ubetydelige mængder magnetisk jern, som kan måles på især sandjord, hvor der naturligt er få magnetiske mineraler. Det kan hurtigt og effektivt give præcise indblik i arkæologiske spor selv under pløjelaget, se figur 2.

Ring i landskabet - Vikingernes ringborge

De nye metoder har også vist sig effektive til lokalisering af anlæg på arealer under dyrkning. Efter at have været overset i årtier af meget rutinerede arkæologer, blev en hidtil ukendt ringborg, Borgring ved Køge, opdaget i 2014 vha. bl.a. Lidar, se figur 3. I dag er ringborgen kun knapt synlig som en mindre forhøjning på en mark. Ringborgen er samtidig med de velkendte anlæg fra Vikingetiden Trelleborg, Aggersborg og Fyrkat.



Allerede ved prøvegravningerne i starten af udgravningsprojektet så man tydelige tegn på, at der var sket drastiske ændringer af landskabet både under og efter anlæggelsen af Borgring. En stor undersøgelse af landskabet omkring ringborgen blev derfor påbegyndt. Der blev lavet geofysiske undersøgelser og en lang række borer med et karteringsbor, se figur 4. Ud fra disse data, samt viden fra arkæologiske søgegrøfter, kunne der laves en model for det oprindelige landskab. Dette arbejde viste, at der var sket ter-

rænreguleringer på op til flere meter, bl.a. i forbindelse med rørlægninger af åen, opfyldninger af lavninger og forlægning af en nærliggende vej. Men allerede ved anlæggelsen af ringborgen var der også lavet større terrænreguleringer med pålagte nivelleringslag under den egentlige vold, idet den oprindelige bakketop ikke helt var stor nok til en borg med en ydre diameter på 145 m. Efter vikingetiden er volden jævnet ud og igennem middelalderen er der aflejret tykke ler- og siltlag i ådalen syd for borgen.



Figur 3. Borgring ses her vist på et kort med falske farver lavet på baggrund af en matematisk model (residual relief) af selve laser-scanningen, som fremhæver den cirkelrunde borg, men også viser ellers usynlige spor som 'konvolut' firkants-mønstrene på markerne, der er opstået før man fik vendepløven og derfor måtte pløje i et sådant mønster.

Figur 4. Det er altid nødvendigt at bore for at forstå undergrunden præcist. Her udføres borearbejde omkring Vikingeborgen Borgring ved Køge for at forstå, hvordan landskabet omkring borgen har ændret sig.



Da borgen blev anlagt i slutningen af 900-tallet, var landskabet således helt anderledes end i dag. Borgbanken lå som en markant forhøjning omgivet af en sumpet ådal mod syd, et skarpt skåret 2 m dybt å-forløb lige på dens vestside, og brede, våde lavninger mod nord-øst og øst. Placeringen af Borgring var derfor strategisk fornuftig i vikingetiden, for man kunne kun komme tørskoet ind til Borgring via en ca. 50 m bred landtange fra nord.

En forsvunden sø

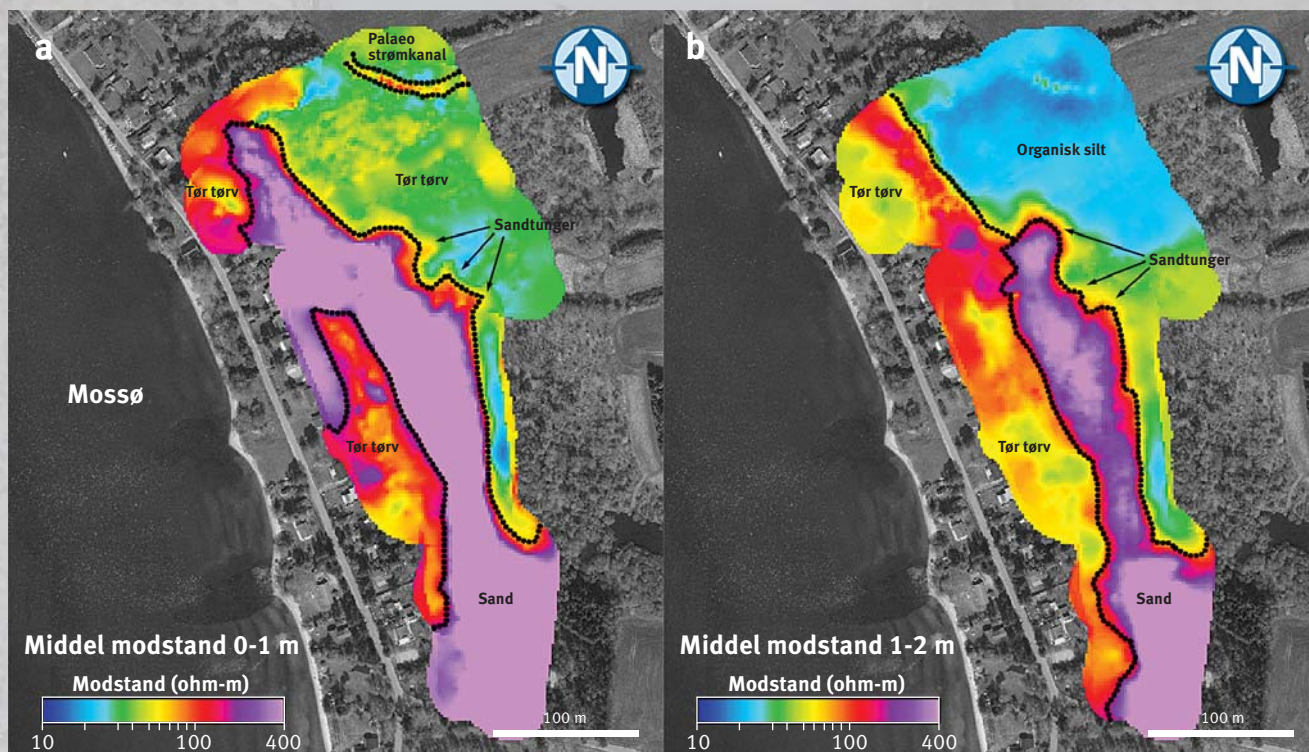
I fortiden var Danmark rigere på søer og moser, men mange bassiner er gennem årtusinderne fyldt helt op med gytje og tørv. I dag kan

vi uden borer men med avanceret geofysik og statistiske metoder imidlertid fastslå, hvor de lå, og hvor dybe de var.

Et godt eksempel på en sø, som så helt anderledes ud i fortiden, er Mossø ca. 5 km vest for Skanderborg. Øst for Mossø ligger en 9 ha stor eng, Alken Enge, som i dag ikke adskiller sig fra så mange andre våde enge i Danmark med marker og spredte krat. Men sådan så der ikke ud for 2.000 år siden. Her blev ligene fra en stor slagen hær nemlig ofret fra, hvad der dengang var smukke hvide sandstrande i en lille sø, som lå adskilt fra Mossøen af en sandodde, se kortene i figur 5 og 6d. Siden dengang er Alken Enge søen fyldt op, mens

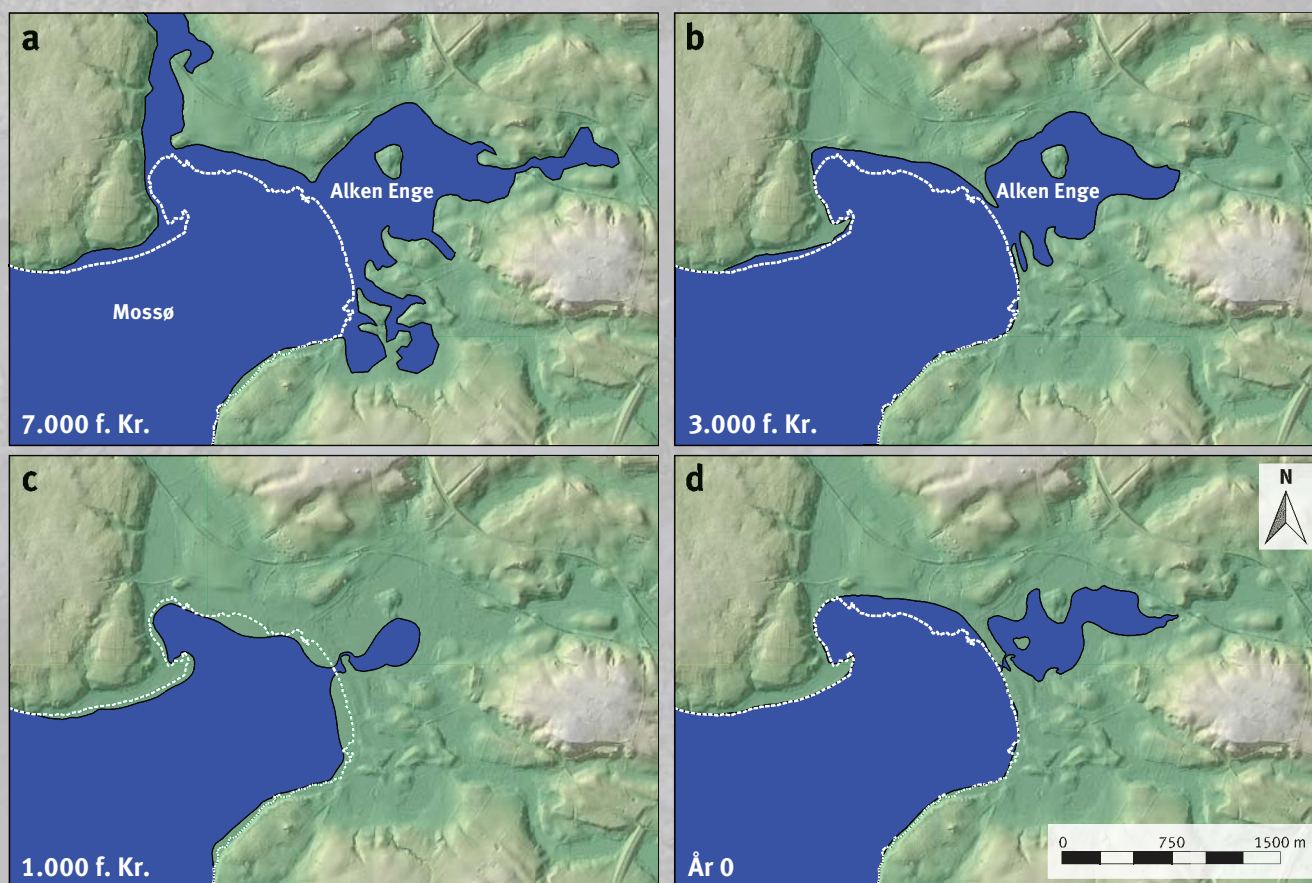
selve den store Mossø endnu er dyb. Men selv i Mossø er der sket meget, kystlinjen har nemlig flyttet sig. Vandspejlet i Mossø var nemlig højere før jernalderen end i dag. Så den sø, som menneskene fra stenalderens Gudenå-kultur sejlede på, så helt anderledes ud. Og for omkring 10.000 år siden var vandstanden måske helt op til 3–4 meter højere end i dag, se figur 6, a-d.

For præcist at belyse hvordan sø og land tidligere har set ud, er engene ved Alken kortlagt med et geofysisk udstyr kaldet Ground Conductivity Meter (se faktaboks). Dette har givet information om jordens elektriske ledningsevne, som igen viser fordelingen af de



Figur 5. Geofysiske resultater fra Alken Enge. **a)** og **b)** horisontalt snit i to dybder hvorved de elektriske egenskaber af jorden ses. Der kan relativt let identificeres flere hoved-litologier med hhv. sand på en nord-sydgående odder og lerede søaflejringer i det afsnørede Alken Enge søbassin imod øst.

Modificeret efter: Christiansen et al. (2016). *Remote Sensing* 2016; 15.



Figur 6. Mossøs østlige ende og de tilstødende Alken Enge. Hvid stiplede linje angiver Mossøs nuværende søbred. Vandstanden i Mossø er faldet 3–4 meter igennem de sidste 10.000 år. Det har betydet, at søens kyst har ændret sig betydeligt, og at der er dannet strandodder og eroderet i skrænter. Så en præcis forståelse for hvordan kysten og landskabet så ud for 2.000 år siden kan bidrage til forståelsen af, hvordan et landskab så ud, mens vores forfædre ofrede slagte krigere.

Modificeret efter: Søe et al. (in press). *Holocene* 2018.

Lidar:

Det seneste årti er der kommet præcise højdekort af hele landet baseret på såkaldt Lidar (Light Detection and Ranging), som er afstandsmålinger fra fly. Når kort fra sådanne højfrekvente laser-pulser behandles, kan man selv igennem tæt skov se højdeforskelle på ned til få cm. Lidar er derfor nu et uvurderligt værktøj over hele verden til at finde jordbunker eller huller, der opstod når fortidens mennesker har flyttet jord. I Danmark er det især anvendeligt i skove og på heder, hvor talrige markskel fra jernalderen, grøfter fra middelalderen eller voldanlæg helt tilbage fra stenalderen kan spores.

Ground Conductivity Meter – GCM

Den geofysiske metode kaldet 'Ground Conductivity Meter' (GCM) er en elektromagnetisk induktionsmetode, hvor en senderspole udsender et elektromagnetisk signal, der forplanter sig i jordlagene. Jorden vil respondere på dette signal og sende et 'svar' tilbage, som registreres af en række modtagerspoler. Det målte signal, afhænger af de elektriske ledningsevner i jorden, hvor et lerlag vil lede strømmen bedre end et sandlag, og et vandmættet lag bedre end et tørt. Ved at analysere de modtagne signaler fra tusindvis af målinger, kan man oversætte signalerne til et 3D kort over undergrundens geologi – og dermed også hvordan landskabet så ud førhen.

Magnetometri:

Måling af magnetiske egenskaber i jorden kaldes magnetometri. Arkæologer og geologer har i årtier brugt magnetiske måleinstrumenter til at påvise menneskers aktiviteter. For når jord varmes op, opstår en lille mængde magnetiske mineraler, der vil ligge tilbage som et ellers usynligt spor af fortiden. Under de helt rigtige forudsætninger, kan dette være en værdifuld metode, men det kræver avanceret udstyr. Der skal nemlig måles helt ned til få nanotesla (nT) i forskelle. En metaldetektor forveksles ofte med et magnetometer pga. navnet, men metaldetektorer er dog helt anderledes opbygget, og ligner meget mere instrumenter til GCM, se ovenfor.



Figur 7. Her ses ikke blot et kranium fra en ofret jernalderkriger fra Alken Enge, men hvad der for geologen er lige så interessant, groft hvidt sand under knoglen. Det afslører, at der omkring Kristi fødsel var en kyst med bølger og at sejrherrene stod ved søbredden og smed de besejrede krigere ud. Det brune tørvelag ovenover knoglen er aflejret i en lille sø med roligere vand, som naturligt må være opstået kort tid efter ofringen fordi Mossø dannede en kystodde som aflukkede Alken Enge.

Foto: Ejvind Hertz, Skanderborg Museum.

forskellige jordarter – i en 3-dimensionel model – ned til 5–7 m under overfladen. Data blev indsamlet ved at udstyret blev trukket hurtigt af sted i et net af tætte linjer bag en terrængående motorcykel. Så selvom dataindsamlingen kun tog to timer, blev der indsamlet 90.000 datapunkter. Som det kan ses i figur 5, giver dataene et detaljeret overblik over forde-

lingen af de geologiske lag, og korrelationen mellem geofysik og geologien i de få borehuller er god. Sandlagene fremstår som lag med høj elektrisk modstand; den tørre tørv med lidt lavere modstand og endelig fremstår de organiskrige søaflejringer med den laveste elektriske modstand. Man kan yderligere identificere nogle sandtunger fra en tidligere strandodde,

som blev dannet i Mossø før den afsnørede bassinet i Alken Enge helt, og der opstod en adskilt lille sø her, hvori menneskeknogler kunne ofres, se figur 7.



Forfattere: SMK, AVC, BVO, DS, PSH, TL.

Arkæologiske proteiner og DNA

Nye metoder til at analysere DNA og proteiner fra organiske materialer gør det muligt at bestemme hvilke arter af planter og dyr, som har været til stede på forhistoriske og historiske lokaliteter. Selv hvor de organiske materialer er næsten fuldstændig nedbrudte, kan analyser af DNA fra jordlag give svar på, hvilke arter, som var til stede på et givet tidspunkt. Dette hjælper os til at forstå, hvordan forhistoriens landskab så ud, hvordan ressourcerne blev brugt og om der var kontakt med andre geografiske områder.

Over de seneste to årtier har metoder til at studere biomolekyler, især DNA og proteiner i arkæologisk sammenhæng udviklet sig eksplosivt og gjort det muligt at frembringe ny viden om dyr, mennesker, planter mm. fra forhistoriske og historiske lokaliteter. DNA og proteiner er begge molekyler, der dannes af levende organismer, og hvoraf mange er unikke for den enkelte art. Molekylerne kan dermed bruges til at identificere den givne art og i visse tilfælde karakterisere den, se boksen s. 12.

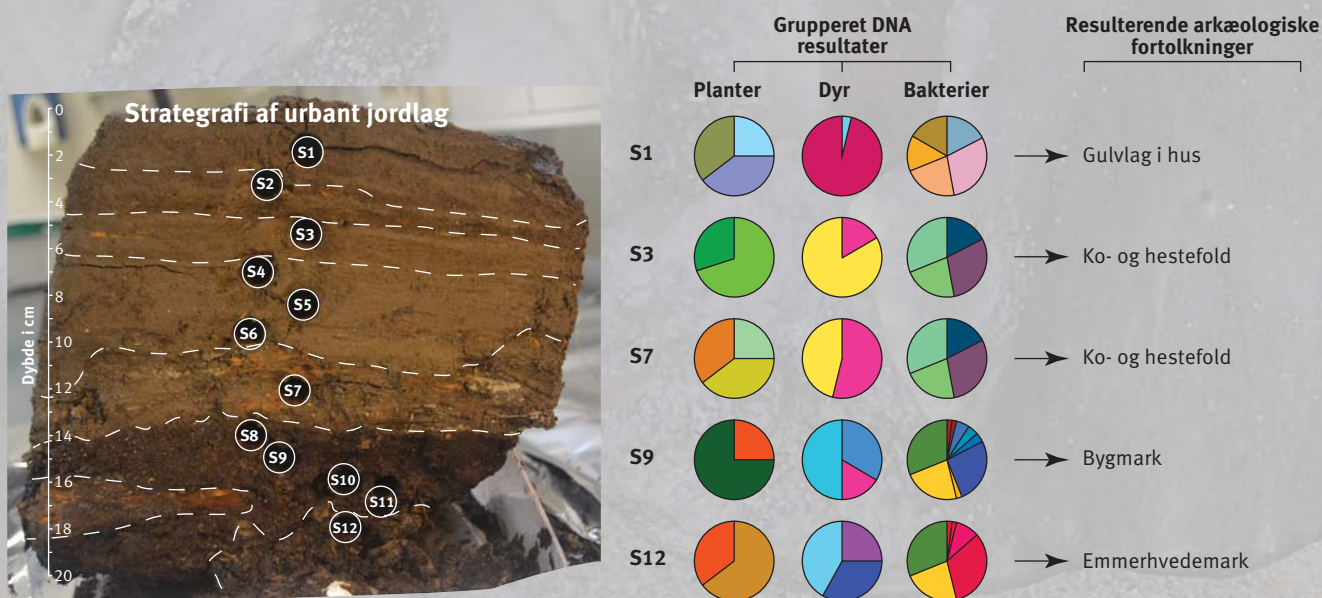
Man kan argumentere for, at DNA er det biomolekyle, som kan give os mest viden om forhistoriens organismer. Efterhånden som vi forstår mere og mere om vores samlede genmateriale (genomer), kan vi fx begynde at forestille os farven og kønnet på forhistoriske dyr, om de havde horn, om de blev avlet til mælke- eller kødproduktion, og om de var lokale eller fra fjerne egne.

I forbindelse med arkæologiske udgravninger kan man finde proteiner og DNA i forskellige materialer og genstande produ-

ceret af fx skind, knogler, hår og andre organiske rester, som er blevet efterladt af fortidens dyr, planter, mennesker og organismer. Nu kan man endda analysere DNA fra adskilte jordlag, hvori materialer og genstande har ligget, men er blevet nedbrudt i en sådan grad, at de nu er blevet til 'jord'. Ved at bestemme artssammensætningen i de enkelte jordlag, kan man identificere vigtige dyr, planter og andre organismer, som er med til at give et billede af, hvilken aktivitet der var i fortiden.

DNA og proteiner fra en vikingetids handelsplads

Der er i skrivende stund foretaget de første prøvetagninger til at undersøge jordlagene i Ribe, se figur 1, forsiden og s. 12. Formålet er her at kigge på artssammensætningen ved at udvinde DNA for bedre at forstå, hvad de



Figur 1. Et profil af urbant jordlag samt eksempel på, hvorledes resultaterne kan hjælpe til forståelse af artssammensætning og af jordlagenes anvendelse.

Foto: Mikkel Winther Pedersen.



Mikkel W. Pedersen i færd med prøvetagning fra organiske lag fra 'gågaden' i en af de tidligste handelspladser i Ribe (se også forsiden). Mikkel og hans kolleger vil forsøge at ekstrahere DNA fra disse lag for at få et genetisk signal fra miljøet i vikingetiden.

Foto: Søren Sindbæk.



Figur 2. Spænde fra hovedtøjet fra hestegraven i Ribe med bevaret læder. Læderet er bestemt til at være koskind.

Foto: Sydvestjyske Museer.

DNA og proteiner

I hver celle findes en kopi af det DNA, som udgør genomet (vores samlede genetiske materiale). Hvert genom er sammensat af en kode, som består af en kombination af fire forskellige baser (nukleotider). I mennesket er koden en kombination af 3 milliarder af disse baser. Når DNA analyseres fra forhistoriske sammenhænge, findes sjældent DNA-molekyler længere end 200 basepar.

Proteiner er store molekyler, som er opbygget af kæder af aminosyrer og foldet i tredimensionelle strukturer. De fungerer som byggesten i cellen og i cellulære processer. Proteiner fra forhistorisk tandsten har kunnet afsløre fødekilder som fx mælk. Proteinet kollagen har vist sig at være meget modstandsdygtigt overfor nedbrydning og har kunnet findes i materialer, som ikke længere indeholder DNA – som fx danske mosefund.

enkelte lag repræsenterer i og omkring handelspladsen, og derigennem at forstå, hvilke aktiviteter, der er foregået. Efter ekstraktion samt isolation af DNA i jordlagene, benyttes en metode, der kaldes 'shotgun' sekventering, hvor med alle de millioner af tilfældige DNA-molekyler, som er til stede, sekventeres og efterfølgende sammenholdes med reference-databaser, som leder til en artsbestemmelse af alle de unikke DNA-fragmenter, som fandtes i jordlaget.

I arkæologiske jordlag kan man sommetider være heldig at finde rester af organisk materiale som fx læder. Dette var tilfældet i en

hestegrav fra 7–800-tallet, som blev fundet i Ribe, hvor dele af det nedlagte hovedtøj var bevaret, se figur 2. Læderet fra seletøjet er et eksempel på, hvordan læder kan give et vigtigt indblik i brugen af animalske ressourcer i vikingetidens Ribe og vikingernes præferencer for læder til lædervarer. I arkæologiske miljøer er DNA i læder ofte for nedbrudt til at kunne analyseres, men ved at udvinde og analysere proteinet kollagen, som er hyppigt i skind og vanskeligere nedbrydeligt end DNA, kunne arten bestemmes. Dette viste, at det bevarede læder fra hestens hovedtøj var koskind. Skind fra fuldvoksnet kvæg er meget stærkt, hvilket må

have været en eftertragtet egenskab i seletøj i modsætning til fx det mere elastiske fåreskind. Nutidens arkæologer kan således anvende molekylære metoder, til at rejse tilbage i tiden og udforske hvilke arter, der var til stede og hvordan de så ud. Ved at bruge disse metoder på fx Ribe-udgravningen, begynder vi fx at kunne forstå mere om hvordan en tidlig handelsplads havde en strategisk vigtig funktion i vikingetidens udveksling af varer, mennesker og dyr.



Forfattere: MWP, LØB, HS, MJC.

På spanden

Små rester af planter, dyr og svampe – såkaldte mikrofossiler – er gode indikatorer for fortidens miljø og klima. Her bruges de til noget andet, nemlig til at identificere afføring, og hvilket dyr, der 'sad på potten'. Blev middelalderens latriner også brugt som skraldespande?

Fæces - menneskets afføring - indgår hurtigt i naturens kredsløb og efterlader kun subtile spor for eftertiden, i hvert fald når mennesker har plads nok, for så går man afsides, når man skal besøge. Dette kredsløbsprincip gjaldt mange steder på landet til helt op i midten af sidste århundrede, hvor man helt naturligt gik ud i grebningen bag køerne, når trangen meldte sig. Her var ikke behov for træk og slip. Ved bydannelsen opstod derimod straks et problem med afføringsmængderne, og man indrettede særlige lukafer til dette formål.

Romernes løsning kan studeres i Pompei, hvor man ganske ugenert sad på rad og række. Knabrostræde i København kan være en for-

vansket form af 'Knækrygstræde', altså der, hvor man gik hen og anbragte sig i en ubekvem stilling i det dertil indrettede hus hen over kanalen for at forrette sit ærinde.

Middelalderbyernes løsning var latriner, se figur 1, som når de var fyldt op, blev dækket til, og nye huller blev gravet. Sådanne koncentrerede mængder af menneskemøg nedbrydes kun langsomt i iltfattige miljøer, og de udgør derfor i dag en righoldig kilde til datidens diæter. Mange frø og større plantedele passerer tilstrækkeligt uskadt igennem fordøjelsessystemet til, at de kan identificeres i dag, og makrofossilanalysen har givet mange præcise bidrag til belysning af middelalderens kost.

Hvis man da så at sige kan adskille skidt fra kanel! Der blev nemlig smidt meget andet i latrinerne, som man lige skulle af med, og der er ofte glidende overgange mellem rene latriner og affaldsgruber lavet til andre formål. Hvis man vanskeligt kan skelne mellem disse formål, kan man heller ikke præcist udtale sig om, hvad der har været spist, og hvad der stammer fra andre kilder. Her kommer andre metoder til hjælp.

Indvoldsorme var udbredte i Danmark i Middelalderen. Styrken af infektionsmiljøet kan man måske få et indtryk af gennem en helt nutidig undersøgelse, der viser, at mere end halvdelen af pengesedler i omløb i Nigeria bærer æg fra indvoldsorm. Disse parasitter findes hos mennesker så vel som hos dyr, men heldigvis oftest af forskellige slags. Menneskeafføring kan derfor ofte identificeres og

Figur 1. Formodede latriner fra udgravning af middelalderanlæg, Thomas B. Thriges Gade, Odense.

Foto: Odense Bys Museum.





Figur 2. Æg af piskeorm fundet i formodet middelalderlatrin fra Odense. Bedømt ud fra størrelsen drejer det sig om menneskets piskeorm (*Trichuris trichiura*).

Foto: Renée Enevold.



Figur 3. Sporer af *Sporormiella* sp., en slægt af svampe, hvoraf mange er knyttet til gødning fra større pattedyr. Sporerne er altid mørke, og har en slids i siden.

Foto: Renée Enevold.

kendes fra dyremøg gennem indholdet af æg fra indvoldsorm.

I et netop afsluttet PhD-projekt er indholdet af mikrofossiler, som ikke er pollen, undersøgt i en række formodede middelalderlatriner fra Odense, København, Aalborg og Viborg. Disse mikrofossiler, kaldet 'Non-Pollen-Palynomorphs' (NPP'er) omfatter mikroskopiske rester med organisk væg, herunder sporer fra svampe og alger, men også ting af dyrisk oprindelse. Ofte kan vi ikke sætte præcist navn på disse mange forskellige fossiler men må give dem et typenavn og nummer og undersøge, hvilket miljø de er knyttet til. Æg fra indvoldsorm hører til undtagelserne, da de kan bestemmes til slægt og ofte til art og dermed også til værtsdyr. I mange af prøverne optræder æg fra to parasitter, spoleorm og piskeorm, den sidste med højest hyppighed. De fleste af æggene

har en størrelse, som passer med æg fra menneskets piskeorm (*Trichuris trichiura*, se figur 2), men nogle er lidt større og kan stamme fra svinets piskeorm (*Trichuris suis*). Den mulige tilstedeværelse af de lidt større æg betyder ikke nødvendigvis, at der er svinemøg i prøven, idet svinets piskeorm godt kan inficere mennesker, menneskets piskeorm kan derimod ikke inficere svin. Æg fra de arter af piskeorme, der inficerer kvæg, får og geder (*Trichuris ovis*) eller ræv, hund og kat (*Trichuris vulpes*), er betydeligt større, men disse blev ikke fundet i middelalderlatrinerne.

Da der ikke er udviklet nogen uafhængig metode til med 100% sikkerhed at identificere latriner, er det vanskeligt at evaluere om tilstedeværelsen af æg fra menneskelige indvoldsorm er helt unik for latriner. Der synes dog at være en rimelig overensstemmelse mellem la-

trinfunktionsbestemmelsen baseret på arkæologiske, arkæobotaniske og NPP-klassifikationer. I prøver uden æg af indvoldsorm blev der ofte fundet sporer af svampe, der vokser på gødning (koprofile svampe, se figur 3), og disse prøver havde også ofte højt indhold af frø af siv, alt sammen indikerende tilstedeværelse af gødning fra husdyr i prøverne.

Der blev i alt fundet over 400 forskellige typer af NPP'er i de 18 latrinprøver, og selvom mange endnu er af ukendt oprindelse, fortsætter arbejdet med at finde nye indikatorer med bidrag til funktionsbestemmelse og klassifikation af anlæg. Her er nok at tage fat på, fortidens mennesker havde energi til andet end at besørge.



Forfattere: BVO, RE.

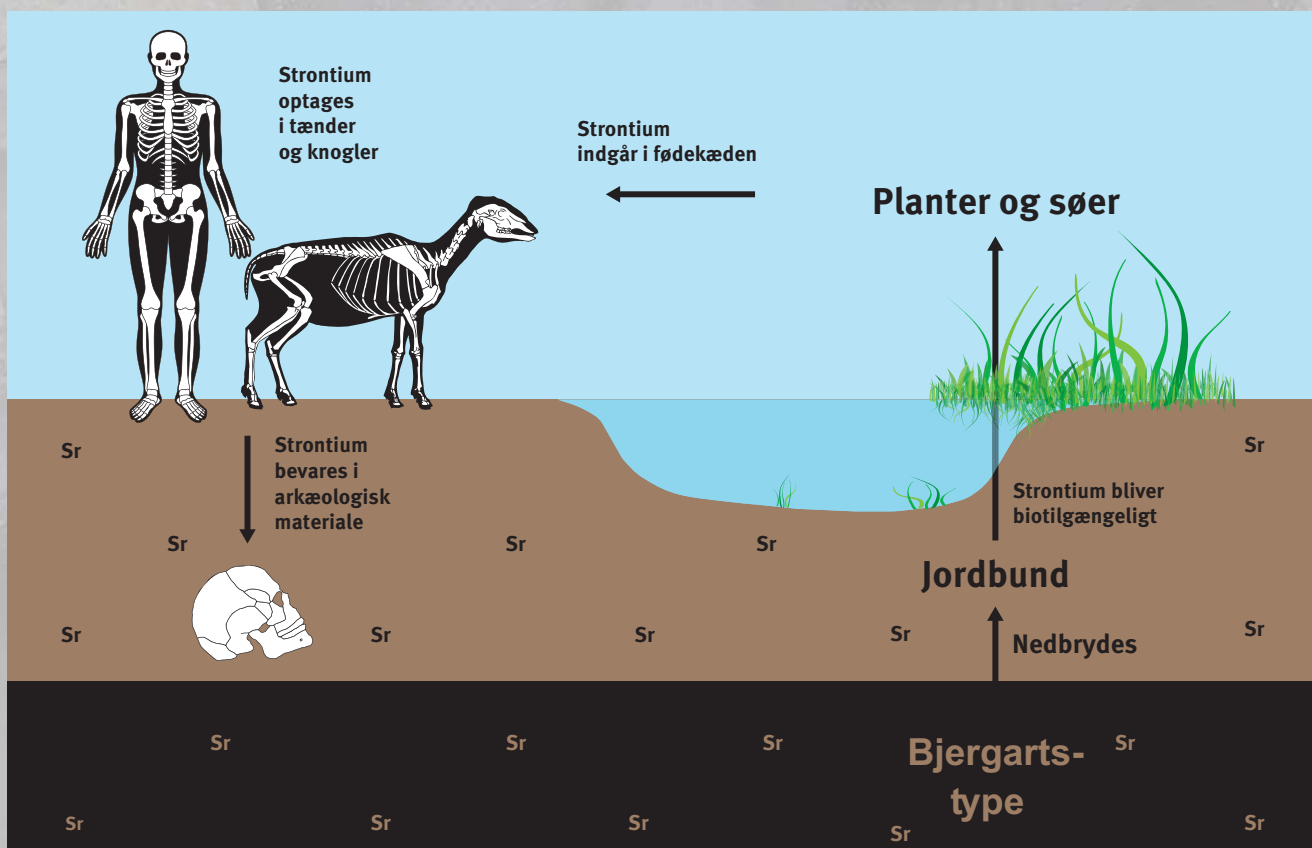
Strontiumisotoper – en geologisk GPS i arkæologien

Strontium forekommer som et sporgrundstof i mange mineraler og bjergarter, hvorfra det kommer ind i vandkredsløbet og biosfæren gennem fødekæden og således også i mennesket. Forholdet mellem de to isotoper $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ i planter og dyr afspejler således geologien i et område og bliver uændret videreført gennem fødekæden, hvor det indlejres i mennesker og dyrs knogler og tænder. Dette forhold kan derfor bruges som et geologisk og geografisk fingeraftryk, en slags GPS, som hjælper os med at identificere oprindelsessteder og dermed rekonstruere mobilitetsmønstre af forhistoriske mennesker og dyr.

Strontium udskilles fra bjergarter og jord ved forvitring og ender i grundvand, søer, åer og til sidst i havet. Opløst strontium kan dermed op-

tages af planter gennem deres rodsystemer, og transporteres videre op gennem fødekæden via føde og vand, se figur 1. Denne frak-

tion af strontium kaldes for det biotilgængelige strontium. Det er denne fraktion, som vi kan måle i knogler og tænder. Heldigvis sker der ingen ændring af forholdet mellem de to strontiumisotoper $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ gennem fødekæden. For at kortlægge isotopsammensætningen af biotilgængeligt strontium benyttes ofte analyser af overfladevand eller planter, idet de afspejler de lokale geologiske forhold.



Figur 1. Strontiums cyklus i miljøet. Cyklussen er forklaret først i artiklen.

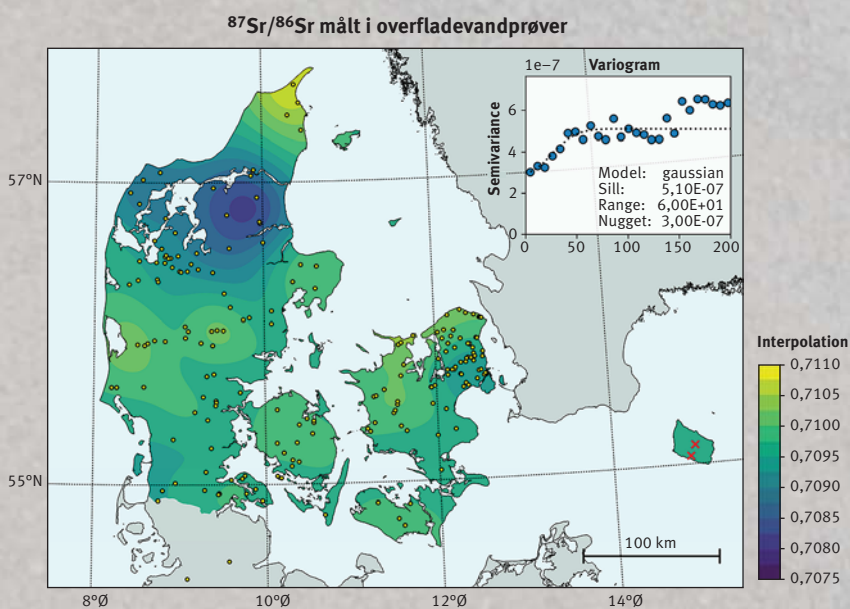
Illustration: Michael Jørgensen og Merete Rude, baseret på design af Karin M. Frei.

Baselines og mennesker

I Danmark har man baseret kortet over strontiumisotopsammensætningen – baselinekortet – på analyser af vand fra søer og åer, se figur 2. Kortet er et vigtigt redskab til at påvise mulige oprindelsessteder og rejseruter for forhistoriske individer. Ved at analysere strontiumisotoperne i arkæologiske fund af menneske- og dyrekogler kan man få oplysninger om,

hvor i verden disse mennesker og dyr levede, fordi deres strontiumisotopsignatur vil afspejle den region, de levede i. Da knogler, tænder, negle og hår dannes på forskellige tidspunkter i livet, kan analyser af forskellige dele af kroppen afsløre, hvor personen har levet gennem forskellige dele af sit liv. Det kaldes en proveniensundersøgelse. For forhistoriske mennesker udføres det typisk på tænder og knogler,

se figur 3, for tandemaljen dannes nemlig i barndommen og fungerer dermed som et arkiv for det område, hvor personen voksede op, mens knoglerne gendannes gennem hele livet, og dermed afslører de sidste år af et individs liv. Dermed fungerer tandemalje og knogler som arkiver for et bestemt antal år af et individs opholdssted lige fra begyndelsen til afslutningen af livet.



Figur 2. Kort over den biotilgængelige del af strontium baseret på analyser af overfladevand. Gule prikker viser, hvor vandprøverne er taget. Resultaterne er efterfølgende interpoleret til et fladekort. Værdierne er angivet på søjlen til højre.

Illustration: Trygvi Bech Árting på basis af analyserne publiceret af Frei og Frei (2011).



Figur 3. Karin Margarita Frei i laboratoriet på Dansk Center for Isotop Geologi ved KU.

Foto: Karin Margarita Frei.

Harald Blåtands hær og Egtvedpigen

I Danmark er metoden fx blevet brugt på knogler fra 157 mennesker, som i slutningen af 1930'erne blev udgravet ved den ca. 1.000 år gamle vikingeborg Trelleborg på Vestsjælland. Man mener, at mange af disse mennesker var en del af Harald Blåtands hær, og strontiumisotopanalyse af tandemaljen fra 48 af dem viste, at ca. halvdelen var opvokset uden for Danmarks nuværende grænser (Bornholm undtaget). Og variationen i strontiumisotopforholdet viste desuden, at de 'ikke-lokale' måtte komme fra forskellige geografiske områder.

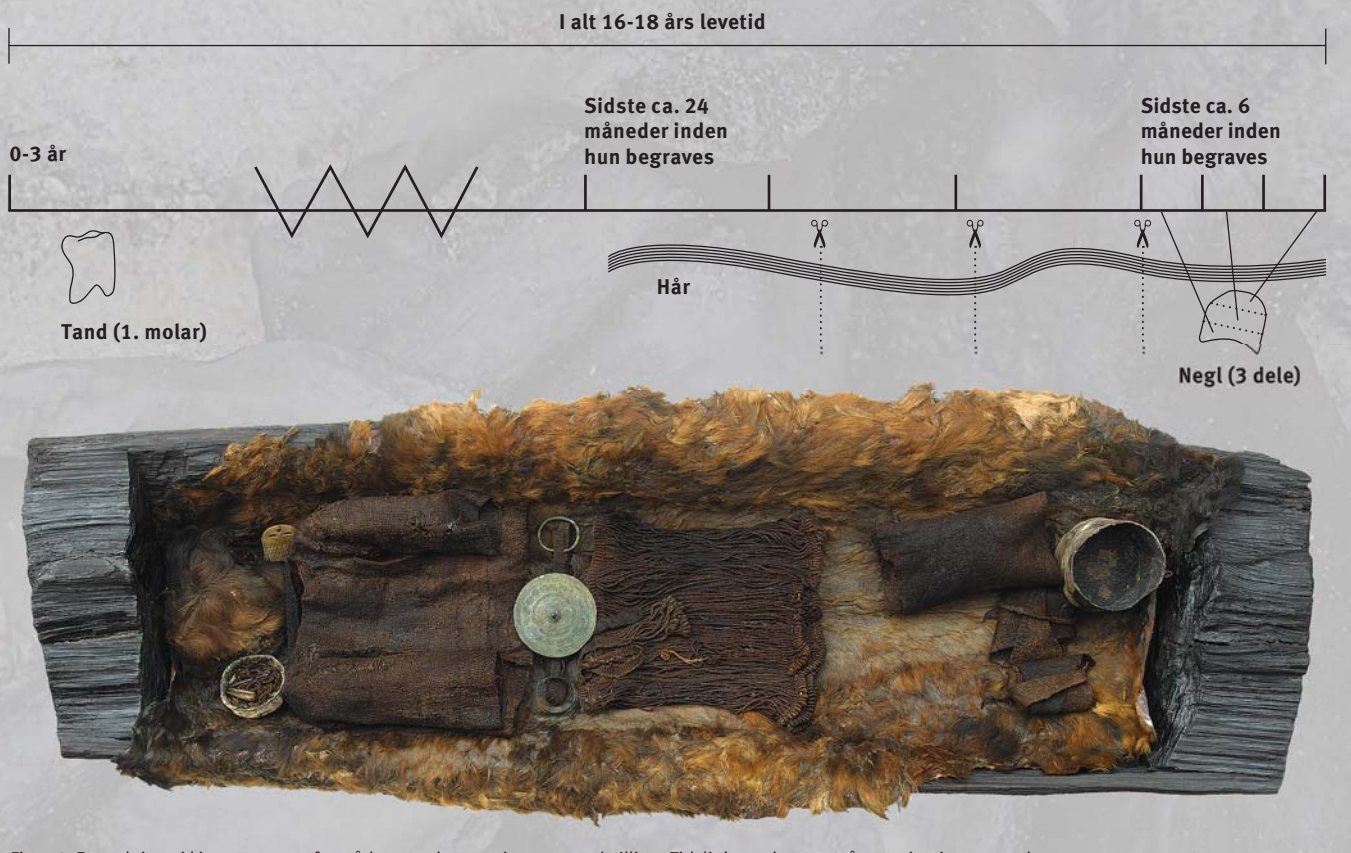
Der kan derfor være tale om en slags lejesoldater. På nuværende tidspunkt er det dog svært at sige præcist, hvor de kom fra. Det skyldes, at man stadig mangler baseline-strontiumisotopkort over en række europæiske områder. Der findes dog i dag ikke andre lige så veletablerede naturvidenskabelige metoder som strontiumisotopanalyse, hvormed man kan komme så tæt på, hvor et forhistorisk individ er opvokset.

Et andet spændende fund er Egtvedpigen, som levede for over 3.300 år siden. Egtvedpigen havde skulderlangt, blondt til mørke-blondt hår. Hår vokser ca. 1 cm om måneden,

og da hendes længste hår var 23 centimeter, er det dannet over de sidste ca. to år af hendes levetid. Strontiumisotopværdierne heri viste, at hun har opholdt sig i geologisk meget forskellige områder, og at hun havde rejst frem og tilbage over meget store afstande – mange hundrede kilometer – i løbet af de to år. Strontiumisotoperne fra hendes kindtand viste yderligere, at hun var opvokset langt fra Egtved, se figur 4.



Forfattere: RF, KMF.



Figur 4. Egtvedpigen i kisten, set ovenfra, sådan som hun ses i museets udstilling: Tidslinjen er baseret på strontiumisotop-analyser.

Foto: Roberto Fortuna, Nationalmuseet.

Strontium

Grundstoffet strontium har fire isotoper: ^{88}Sr (82,58%), ^{87}Sr (7,00%), ^{86}Sr (9,86%) og ^{84}Sr (0,56%). Det arkæologisk interessante strontium-isotopforhold er $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, som afhænger af bjergarters type og alderen. Når de eroderes og danner sedimenter kan isotopforholdet altså bruges som en slags geologisk GPS. I laboratoriet kan strontium ekstraheres fra vand, knogler, tænder og planter med såkaldt ionkromatografi-separation. Isotopsammensætningen af strontium i prøven kan herefter måles på et termisk ioniserings- (TIMS) eller et induktivt koblet plasma-massespektrometer (ICP-MS).

Det nødvendige hvornår

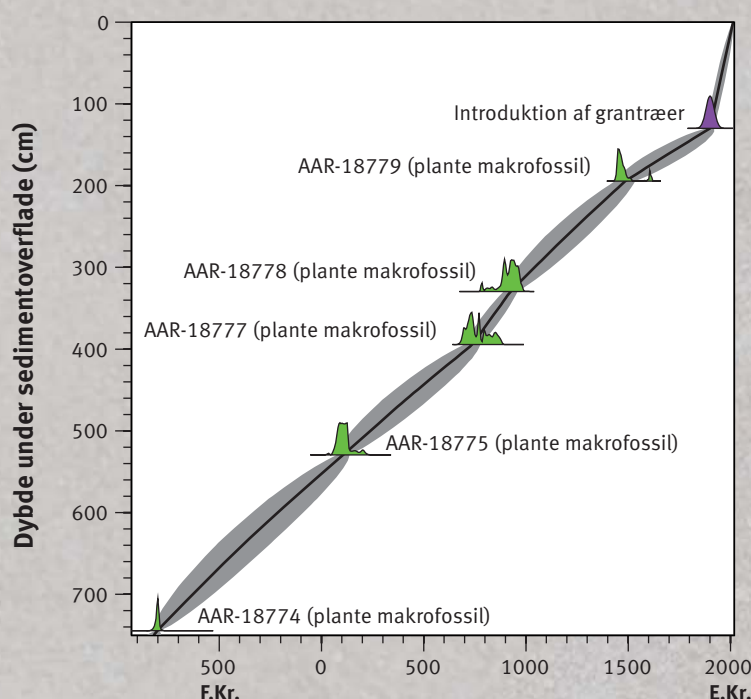
I både arkæologi og geologi er det helt store spørgsmål ofte: hvor gammelt er det? I dag kan dette spørgsmål faktisk besvares mere præcist end nogensinde før, og det uanset om det drejer sig om så forskellige ting som, hvornår en sten eller et sandkorn sidst så dagens lys, eller hvornår et blad, fundet på bunden af en sø, sad på et træ. Sådanne præcise dateringer vil i fremtiden helt sikkert rykke på mange af de hidtidige ideer om årsager og virkninger blandt fortidens mennesker og natur.

Hvornår et lille blad var levende, for derefter at falde ned og lægge sig på bunden af en sø, kan virke helt ligegyldigt. Men det kan faktisk være af stor hjælp, når man helt præcist skal bestemme, hvornår dette lag i søbunden blev aflejret. De tykke lag på bunden af en sø er nemlig værdifulde arkiver over fortidens miljø og klima, fordi bl.a. mikroskopiske plantester som fx pollen er bevaret deri, lag for lag. Pollen, andre plantester og lages kemiske sammensætning fortæller detaljerede historier om fortidens miljø. Kulstof-14 dateringsmetoden er særdeles velegnet til at finde ud af, hvornår det skete. I en søbunds lagserie kan kulstof-14 således anvendes til at oversætte dybder til aldre – en såkaldt aldersmodel (fi-

gur 1) – så der kan sættes en mere præcis alder på de klima- og miljøændringer, som lagserien viser. En forudsætning er dog, at der findes rester af planter (helst landplanter) eller dyr, at aflejringerne er sket i roligt vand, og at nedbrydningen har været begrænset og ikke forstyrret af fx dræning. Man kan i dag også udnytte, at flere kulstof-14-aldre integreres i en statistisk model. Usikkerheden på de enkelte analyser bliver herved samlet set mindre, og man får en bedre forståelse for alderen på hele den lagfølge, man daterer.

Hvornår en sten eller et sandkorn sidst så dagens lys, kan også lyde som en ret trivial oplysning. Den metode, der bruges her, hedder *optisk stimuleret luminescensdatering* (OSL),

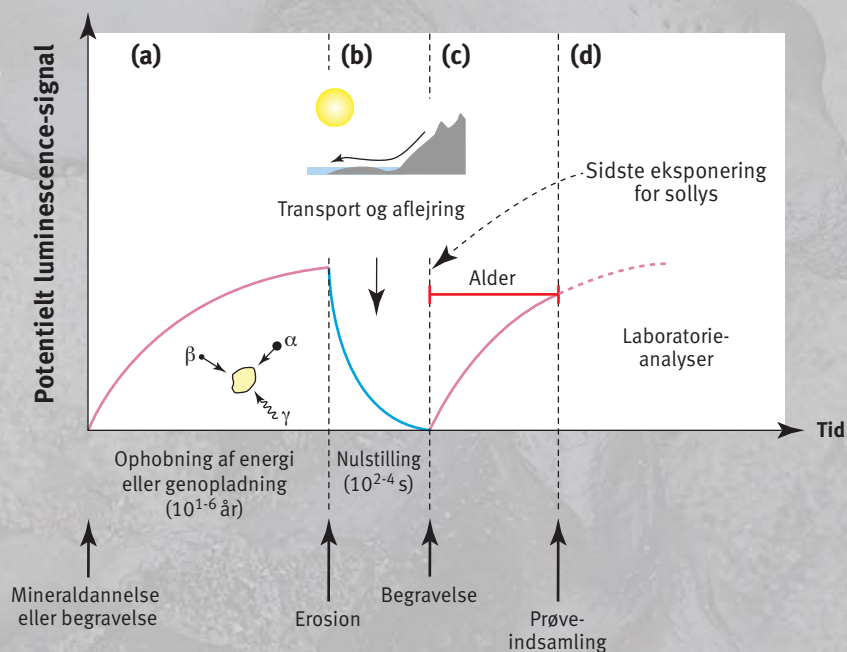
og den kan faktisk ret præcist fortælle os det. Det kan have stor betydning for forståelsen af fortidens miljø og klima samt menneskers anvendelser af landskabet. OSL-metoden udnytter, at elektroner er fanget i defekterne i krystalgitterne i kvarts og feldspat, når naturlig radioaktivitet i jorden rammer et begravet mineralkorn. Først når mineralkornet udsættes for solens stråler, vil disse elektroner, kaldet 'signalet', forsvinde igen. Når et kvartskrystal i fx et sandkorn af kvarts ligger begravet, tager det op til 100.000 år før det er 'fyldt helt op' med elektroner igen, se figur 2. Hvis man i mørke eller i begravet tilstand bringer krystalkornet ind i et laboratorium, kan man måle, hvor mange krystalgitterfejl, der er. Dette gøres ved at udsætte sandkornet for lys af en særlig bølgelængde og præcist måle det lys (de fotoner), som opstår, når krystalgitterfejlene forsvinder igen. Mineralkornet er altså en slags ur, som måler, hvor lang tid sandkornet har ligget i jorden. Selve OSL-målingerne og de statistiske metoder er



Figur 1. Skematisk lagserie i en lille sø, hvor der vha. kulstof-14-metoden er dateret 5 landplante-rester i forskellige dybder under søens bund. Søen er Ilsø i Østjylland tæt ved Alken Enge. De fem målte kulstof-14-aldre er først via en kalibreringskurve 'oversat' til kalenderår. Med grønt er vist de såkaldte sandsynlighedsfordelinger for hver måling. Alle kulstof-14-dateringer bruges så til at opstille en samlet 'alders-dybde-model' i et computerprogram, der oversætter fra dybder til aldre således, at der kan sættes en alder i kalenderår til hver dybde i søen. For at øge nøjagtigheden er der yderligere tilføjet en alder for første forekomst af pollen af grantræer (år 1900 ± 20, lilla sandsynlighedsfordeling). Den endelige alders-dybde-model er vist med sort streg, mens den grå udfyldning omkring antyder usikkerheden på modellen.

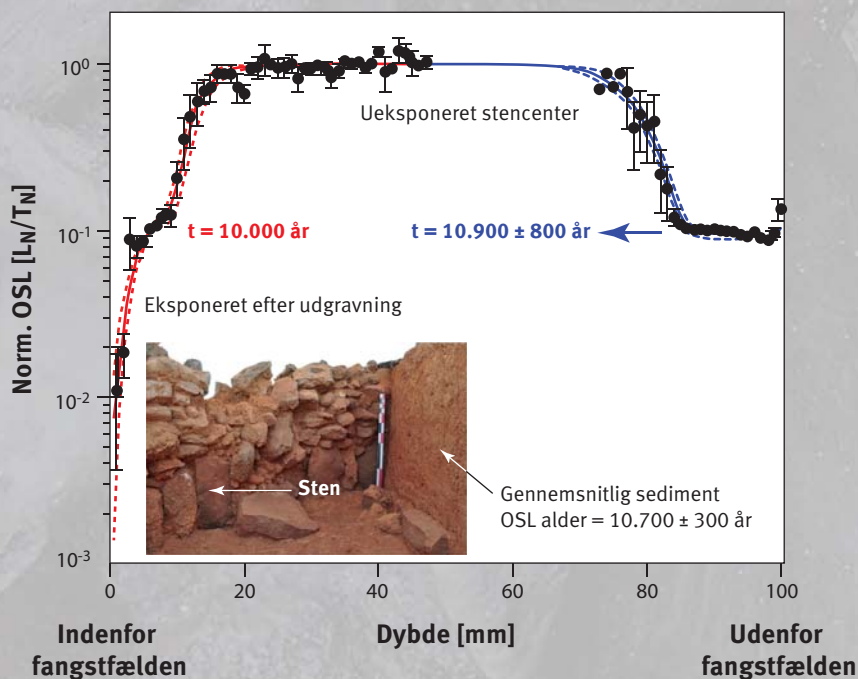
Figur 2. Princippet bag optisk stimuleret luminescensdatering, som kan fastslå, hvornår et sandkorn eller en sten sidste gang så dagens lys. Princippet er beskrevet i større detalje i teksten.

Kilde: Efter Mellet, C.L. (2013).



Figur 3. En stenopbygget fangstfælde til dyr i Jordans ørken. Den markerede sten blev i forhistorisk tid brugt til at bygge væggen i fangstfælden, hvor den blev udsat for dagslys inden de fyldte jord rundt omkring den. Profilet med aldre bestemt vha. optisk stimuleret luminescensdatering (OSL) viser, at 'OSL-signalet' blev totalt nulstillet på begge sider af stenen under byggeriet, og at stenen sidenhen modtog naturlig stråling fra jorden i væggen. Signalet, som er modtaget, svarer til en alder på fangstfælden på ca. 10.000 år. Det er endda muligt at se den lille nulstilling, som opstod inden stenen blev skærmet for solens lys under udgravningen.

Modificeret efter al Khasawneh m.fl.



komplerede, men anvendelsesmulighederne i arkæologien er utallige.

Nyudviklinger af OSL-metoden har endda åbnet for, at selv en stor sten eller en klippeoverflade kan dateres, se figur 3. Dette har mange oplagte anvendelsesmuligheder i arkæologiske udgravninger, hvor fx stendysse

kan dateres, selvom der kun er jord og sten tilbage, eller man kan datere tidspunkter for, hvornår rydninger af sten fra forhistoriske marker har fundet sted.

I tørre klimaer er OSL ofte den eneste mulighed man har for at datere, da organisk stof hurtigt nedbrydes her. Populært kan man sige,

at kulstof-14 og OSL-metoderne supplerer hinanden godt, for i mere fugtige klimaer bevares organisk stof til kulstof-14-datering bedre.



Forfattere: SMK, AM, J-PB, JO.

PERSONDATAPOLITIK FOR ABONNENTER PÅ GEOVIDEN

I forbindelse med den nye persondataforordning vil vi sikre os, at du er opmærksom på, at du ved at abonnere på Geoviden giver samtykke til, at Geocenter Danmark, herunder GEUS, indsamler og behandler de oplysninger, som du har oplyst til os som navn, e-mail og adresse, med henblik på at kunne sende Geoviden til dig.

Dine oplysninger bliver opbevaret sikkert og fortroligt i vores database, og kun enkelte medarbejdere har adgang til listen over abonnenter. I forbindelse med udsendelse af Geoviden videregives oplysningerne om de enkelte abonnenter til vores distributionspartnere, som vi har databehandlersaftaler med.

Du kan til enhver tid opsige dit abonnement ved at e-maile til geoviden@geus.dk, og så vil oplysningerne om dig blive slettet. Skriv også til e-mailen, hvis du vil have oplyst eller ændret dine oplysninger – fx rettet din adresse i forbindelse med flytning.

GEOCENTER DANMARK

GEOCENTER DANMARK

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, samt Geologisk Museum (Statens Naturhistoriske Museum) begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

UDGIVER

Geocenter Danmark.

ISSN 1604-6935 (PAPIR)

ISSN 1604-8172 (ELEKTRONISK)

REDAKTION

Geoviden – Geologi og Geografi redigeres af Seniorforsker Merete Binderup (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med en redaktionsgruppe.

Geoviden – Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til e-mail: geoviden@geus.dk og på www.geocenter.dk, hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet.

Produktion: Annabeth Andersen, GEUS.

Tryk: Rosendahls A/S.

Forsidefoto: Mikkel W. Pedersen tager prøver af organiske lag fra 'gågaden' i en af de tidligste handelspladser i Ribe, se s. 11-12.

Foto: Søren Sindbæk.

Reprografisk arbejde: Annabeth Andersen, GEUS.

Illustrationer: Forfattere og Grafisk, GEUS.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.



GEUS

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER
FOR DANMARK OG GRØNLAND (GEUS)

Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 38 14 20 00
E-mail: geus@geus.dk



INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB OG
NATURFORVALTNING (IGN)

Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 35 32 25 00
E-mail: ign@ign.ku.dk



INSTITUT FOR GEOSCIENCE (IG)
Aarhus Universitet

Høegh-Guldbergs Gade 2, B.1670
8000 Aarhus C
Tlf: 89 42 94 00
E-mail: geologi@au.dk

GEOLOGISK MUSEUM (SNM)

Øster Voldgade 5–7
1350 København K
Tlf: 35 32 23 45
E-mail: snm@snm.ku.dk

DANMARK

PP

Magasinet UMM
ID-nr. 46439