

Kulstof-14 datering af stenalderens keramik

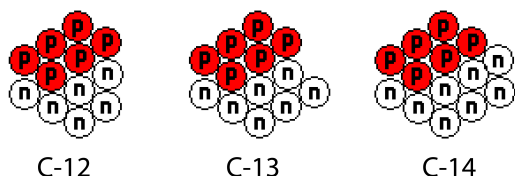
Hvordan brændt mad, gamle fisk og en accelerator hænger sammen

Af Bente Philippsen, AMS ¹⁴C Dateringscenter, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

Fra den yngre stenalder findes der ofte lerkar med brændte madrester i udgravninger i Danmark og det nordlige Tyskland. Når man vil datere dem med kulstof-14 metoden, er der en mulig fejlkilde. Fisk, som kommer fra en å med hårdt vand, indeholder "gammelt" kulstof, så man får en forkert, for høj alder ved dateringen af fisken. Det samme problem kan opstå ved dateringen af madskorper på lerkar, hvis fisk har været kogt i dem. Jeg kigger nærmere på fastbrændingsprocessen og prøver at finde ud af, om den ældste keramik fra Schleswig-Holstein virkelig er så gammel.

Kulstof-14 datering

Der findes tre isotoper af kulstof: ¹²C, ¹³C og ¹⁴C. Isotoper er forskellige typer af et grundstof, som kun er forskellige med hensyn til vægten. De har alle det samme antal protoner, og dermed næsten de samme kemiske egenskaber. Det er antallet af neutroner, som gør, at de vejer lidt forskelligt. På figur 1 ses kulstofs isotoper med 6 protoner og henholdsvis 6, 7 og 8 neutroner.

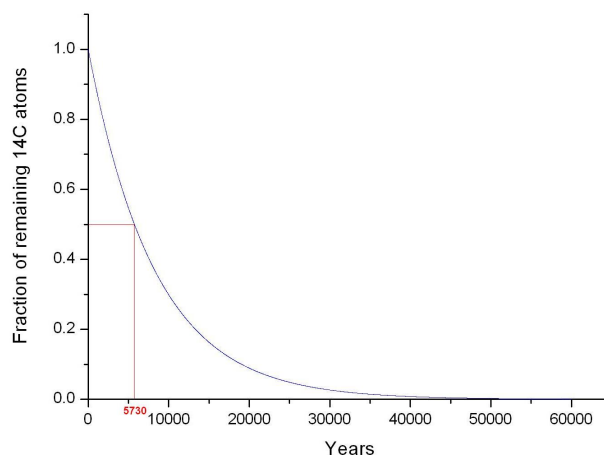


Figur 1. Kulstofs isotoper.

Koncentrationerne af ¹²C, ¹³C og ¹⁴C på Jorden er meget forskellige: Der er 98,9% ¹²C og 1,1% ¹³C. ¹⁴C forekommer kun i en koncentration af ca. 10⁻¹². ¹²C og ¹³C er stabile, mens ¹⁴C er radioaktiv med en halveringstid på 5730 år. Alligevel er der en næsten konstant koncentration af ¹⁴C i atmosfæren, og det skyldes den konstante produktion af ¹⁴C fra kosmisk stråling. Planter optager CO₂ fra atmosfæren via fotosyntesen, og dermed optager de også ¹⁴C. Mennesker eller dyr, som spiser planterne (eller andre dyr, som har spist planter), optager dermed også ¹⁴C. Man siger derfor, at planter, dyr og mennesker er i ¹⁴C-ligevægt med atmosfæren.

Når optagelsen af ¹⁴C slutter (ved planten, dyret eller menneskets død), så henfalder ¹⁴C i kroppen med halveringstiden på 5730 år. Det betyder, at efter 5730 år er der kun halvdelen af den oprindelige ¹⁴C koncentration tilbage. Efter 11.460 år er det kun en fjerdedel, efter 17.190 år 1/8, efter 22.920 år 1/16, og så videre. Henfaldet af ¹⁴C er vist i figur 2.

For at datere, måler man ¹⁴C-koncentrationen i prøven og sammenligner det med den oprindelige koncentration. På figur 2 kan man aflæse, hvilken alder der svarer til hvilken ¹⁴C-koncentration (¹⁴C-koncentrationen i figur 2 er målt i forhold til den oprindelige ¹⁴C-koncentration).



Figur 2. Henfaldsloven.

Målingen foregår med et accelerator-massespektrometer. En partikelaccelerator accelererer kulstof-ioner til høje hastigheder, hvorefter et magnetfelt afbøjer dem: De lettere kulstof-isotoper bliver stærkere afbøjet, så man kan sortere isotoperne med magneten. Derefter måler man antallet af de forskellige isotoper og regner ¹⁴C-koncentrationen ud. Figur 3 viser accelerator-massespektrometret (den orange tank i baggrunden), magneten (også orange, til venstre) og detektorerne (til højre).



Figur 3. Acceleratoren til ¹⁴C-målinger på Aarhus Universitet.

Reservoireffekter

Som tidligere forklaret, sammenligner man den målte ¹⁴C-koncentration med atmosfærens ¹⁴C-koncentration for at beregne prøvens alder. Men hvad nu, hvis prøven ikke har optaget kulstof fra atmosfæren? Vandplanter fx. optager kulstof fra det opløste CO₂ i vandet. Fisk optager kulstof via deres føde, og det er mest vandplanter eller andre dyr som lever af vandplanter. Problemet er nu, at kulstof i vandet kan have en anden alder end kulstoffet i atmosfæren. Det kaldes reservoireffekten, fordi

prøver som optager kulstof fra et andet reservoir end atmosfæren kan have en anden kulstof-14 (^{14}C) alder end de ville have hvis de optog CO_2 fra atmosfæren.

Den væsentligste kilde for en ændret ^{14}C -alder i ferskvand er kalk: Nedbør som løber gennem sedimenterne kan opløse kalk. Kalk er en gammel bjergart og den mængde ^{14}C den indeholder er henfaldet i løbet af årtusinderne. Vand som indeholder en betydelig mængde opløst kalk indeholder derfor en betydelig mængde gammel CO_2 , som blandes med vandets nutidige CO_2 . Resultatet er, at vandets CO_2 har en gennemsnitlige alder af nogle hundrede år, hvis der er opløst kalk. Vand med en stor mængde af opløst kalk kaldes "hårdt vand", og derfor hedder denne reservoir-effekt også "hårdtvandseffekten".

Kulstof-14 datering af keramik

Keramik er en af de vigtigste fundgrupper for arkæologerne. Keramikstil eller type bruges ofte til klassifikation af kulturer, og keramik er et sikkert tegn på menneskelig aktivitet i fortiden. Hvis man kan datere (dvs. aldersbestemme) et stykke keramik, så har man en mulighed for at datere, hvornår mennesker levede på det sted.

Dateringen af keramik med kulstof-14 metoden er vanskelig: der er ikke meget kulstof i leret, og det kulstof som findes i leret kan stamme fra planter som døde mange århundreder før lerkarret blev lavet. Heldigvis fandtes der også glemsomme kokke i stenalderen: nogle gange brændte maden fast i lerkarret. Da lerkarrene med fastbrændte madskorper ofte blev smidt væk, kan arkæologer i dag finde dem. En madskorpe er organisk materiale, og derfor indeholder den kulstof, som kan bruges til datering. Man kan så datere det tidspunkt, hvor lerkarret sidst blev brugt.

Metoden virker helt fint, men under en forudsætning: at stenalderfolk kun lavede "terrestrisk" mad i deres lerkar, dvs. landplanter og kød fra landdyr. Som jeg nævnte før, kan fisk og andre ting fra ferskvand have et lavere ^{14}C -indhold end samtidige landplanter og derfor have "for høje aldre", når man daterer dem. Hvad nu, hvis folk i stenalderen kogte (og brændte) fisk i lerkarret? En madskorpe fra en "gammel" fisk skulle også have den for høje alder. Det betyder nu: en madskorpe, som vi udgraver og daterer, kan enten være påvirket af ferskvandreservoireffekten – eller ikke. Hvis man måler en alder på 5000 år for en madskorpe, så kan det være den sande alder, hvis der blev kogt terrestrisk mad i karret. Men det kunne også være, at der blev kogt fisk i karret – så ville den sande alder være nogle hundrede år yngre end det man har målt.

For at finde den rigtige alder, skal man altså have en metode for at finde ud af, hvilken slags mad der blev kogt i stenalderen. Det er ikke nemt, fordi de fleste madskorper ser ens ud, og det er meget sjældent der er fx. en fastbrændt fiskeknogle eller skæl. Derfor er det nødvendigt at finde en metode til at skelne mellem en fiskemadskorpe og andre madskorper. For at udvikle og teste sådan en metode, har vi lavet nogle eksperimenter.

Målinger af moderne materiale

For at finde ud af, om hårdtvandseffekten er mulig i de to åer blev der målt på vandets og fiskens ^{14}C -indhold. Det kan tydeligt ses, at vandet i begge åer indeholder meget gammelt kulstof: Trave vand er 1630 år "gammel", og Alster vand er endnu ældre: 2450 år. Fiskene er ikke helt så gamle, kun 720 år (Trave) og 650 år (Alster). Grunden til det kan være at fisken vi målte på (skalle), ikke kun spiser planter og dyr fra åen, men også fx. insekter eller plantedele som er faldet i vandet.



(a) Trave vand: 1630 ± 30 år

(b) Alster vand: 2450 ± 45 år



(c) Trave fisk: 720 ± 45 år

(d) Alster snegl: 870 ± 45 år

Figur 4. Prøver fra Trave og Alster og deres aldre.

Eksperimenter

For at teste, om ferskvandseffekten er mulig i madskorper, har vi lavet nogle eksperimenter. Eksperimenternes princip er ret enkelt: lav mad i et lerkar, som man gjorde i stenalderen, og lad det brænde fast. Men i detaljerne bliver det lidt mere kompliceret. For det første skal man have den samme type gryder som man havde i stenalderen. Heldigvis er Harm Paulsen, eksperimentel arkæolog fra Slesvig, ekspert i at lave kopier af arkæologiske fund, så han kunne også lave lerkar på gammeldags manér.

Brændingen af lerkarrene foregik også på den samme måde som i stenalderen, nemlig i et bål. I figur 5 er processen vist. Det er vigtigt, at man brænder lerkarrene meget forsigtigt, så de ikke knækker. Man skal sørge for, at der ikke opstår høje temperaturforskelle under brændingsprocessen. Derfor begynder man med et bål til opvarmning af brændepladsen. Det trækker man fra hinanden og stiller lerkarrene i midten. Nu skubber man bålet langsomt tættere på karrene og forstørret det. Derefter venter man, til bålet er brændt ned, og tager karrene ud. Bålet havde en temperatur på cirka 700°C , og det var varmt nok til at brænde lerkarrene hårde. De er også vandtætte, selvom man ikke glaserer dem.



(a) Lerkarrene bliver langsomt varmet op



(b) Brænding af lerkarrene

Figur 5. Brænding af spidsbundne lerkar. Fotos af Aikaterini Glykou.

I figur 6 ses fremstillingen af madskorperne. Vi fandt ud af, at de spidsbundne lerkar var velegnede til kogning, men det tager rigtig lang tid inden mad brænder fast. For at starte dannelsen af en madskorpe måtte vi bruge langt mere brændsel end ved kogning, og det tog mere end en time før madskorpen blev dannet. Det må altså have været muligt at koge i stenalderen uden at lave madskorper.



(a) Fisk varmes



(b) Fiskemadskorpe



(c) Kødsuppe koger



(d) Kødmadskorpe

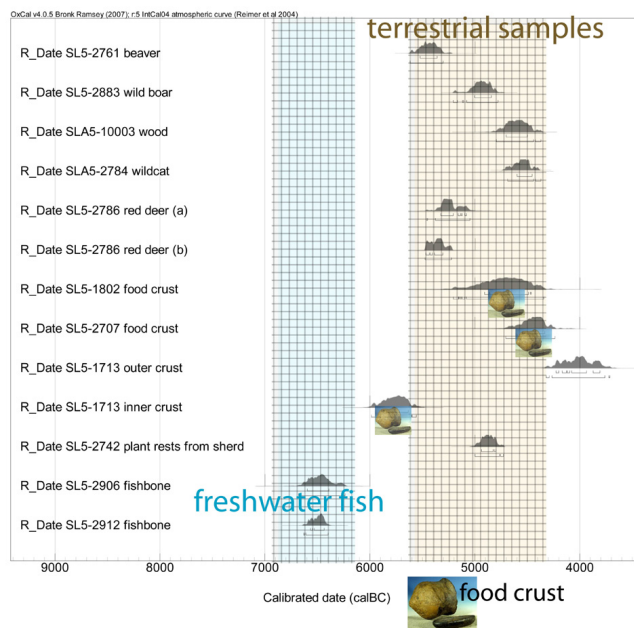
Figur 6. Kogning og fremstilling af madskorper fra fisk (a-b) og kød (c-d).

Men hvorfor findes der alligevel så mange potteskår med brændte madrester? Det er nemt at forstå hvis man forestiller sig det følgende: I en gruppe stenalderfolk skete det måske kun én gang om året, at noget mad brændte fast. Så blev gryden smidt ud. Hvis man nu forestiller sig, at en boplads var beboet i 50 år, så betyder det at der kom 50 gryder med madskorper sammen i den store affaldsbunke. Og hvis hver gryde gik i stykker (måske omkring 20 skår per gryde) – så har man allerede 1000 potteskår med madskorper.

De “moderne” madskorper blev nu dateret. Vi fandt ud af, at vildsvinemadskorper har en alder på 3 ± 2 år i forhold til atmosfæren, hvilket passer meget godt med forventningerne. Det tager nemlig cirka et år, inden atmosfærisk CO_2 er optaget af planter og dyr. Derudover var kødet frossent, da vi købte det, så det var sikkert allerede nogle måneder gammelt. Det er helt anderledes med fiske-madskorpen, som har en alder af omkring 760 år – det er omkring den samme alder som fisken havde. Det er dermed bevist, at hårdtvandseffekten kan findes i madskorper fra fisk.

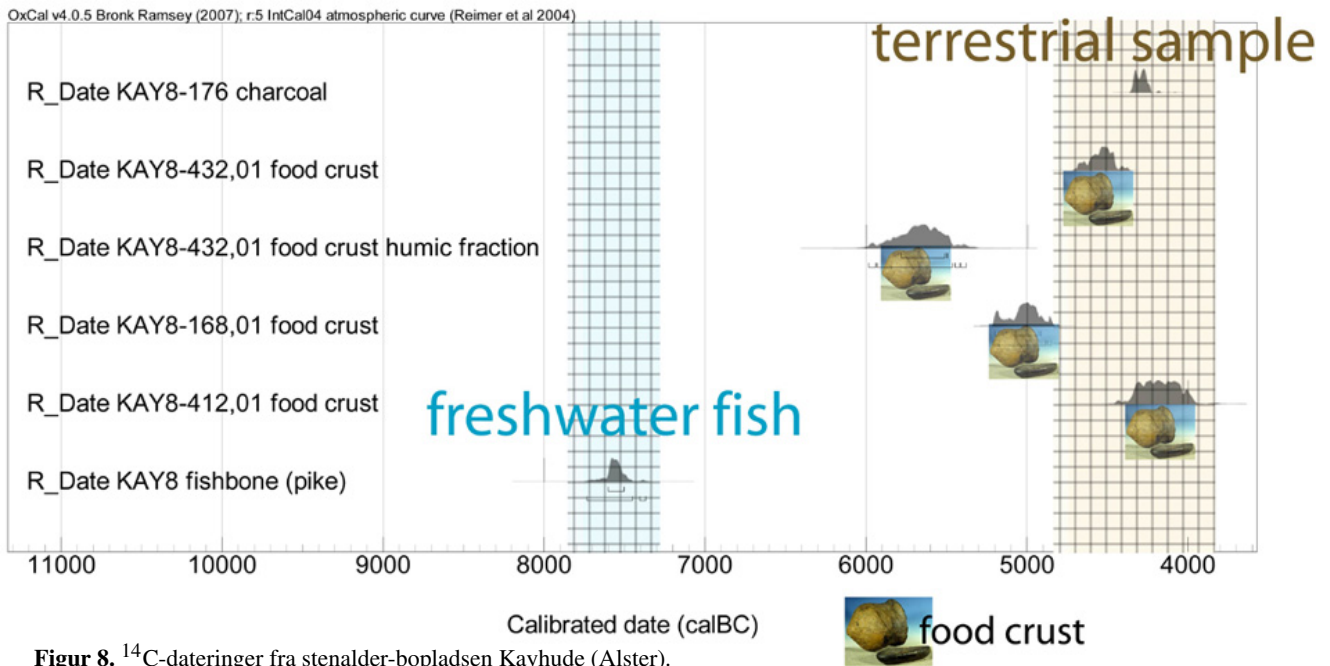
Arkæologisk materiale

Nu skal vi se på, om der også er en hårdtvandseffekt i arkæologiske madskorper. Derfor har vi dateret prøver fra to stenalder-bopladsder: Schlamersdorf ved åen Trave og Kayhude ved åen Alster.



Figur 7. ^{14}C -dateringer fra stenalder-bopladsen Schlamersdorf (Trave).

Figurerne 7 og 8 viser dateringerne. På x -aksen er alderen i år før Kristi fødsel, og der er tegnet sandsynlighedsfordelinger for de forskellige prøvers aldre (ligesom det er med alle fysiske målinger, får vi ikke én præcis værdi, men sandsynlighedsfordelinger omkring den sande værdi). Det kan tydeligt ses, at der er en stor aldersforskel mellem ferskvandsfisk (“freshwater fish”) og terrestriske prøver (“terrestrial samples”). Der har altså været en tydelig hårdtvandseffekt allerede i stenalderen.



Figur 8. ^{14}C -dateringer fra stenalder-bopladsen Kayhude (Alster).

Madskorperne (“food crust”), som er markeret med billeder af Ertebølle-keramik, har cirka den samme alder som terrestriske prøver, eller de er lidt ældre. Der er ingen madskorpe, som har en ^{14}C -alder så høj som fiskenes, så man kan konkludere, at madskorperne ikke kun er lavet af fisk. Alligevel ved vi nu, at man skal passe på med datering af madskorper, fordi de åbenbart kan have en ^{14}C -alder, som er for høj i forhold til den virkelige alder.

Litteratur

- [1] A. Fischer og J. Heinemeier (2003) Freshwater Reservoir Effect in ^{14}C Dates of Food Residue on Pottery. *Radiocarbon* **45**(3): 449-466
- [2] J. Heinemeier, H. L. Nielsen og N. Rud (1992) Kulstof-14 datering med acceleratore. *Naturens Verden* **371**
- [3] H. Levi (1952) Radioaktivt kulstof i naturen og C-14 dateringen. *Naturens Verden* **196**
- [4] Bente Philippsen, Henrik Kjeldsen, Sönke Hartz, Harm Paulsen, Ingo Clausen, og Jan Heinemeier, The hard-water effect in AMS ^{14}C dating of food crusts on pottery, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* (submitted).



Bente Philippsen er ph.d.-studerende i AMS ^{14}C laboratoriet ved Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. www.C14.dk.

Planetkalender 2009 – forklaring

På næste side er der – som tidligere år – trykt en “Planetkalender for København 2009”, udregnet af Martin Götz, med overblik over en række astronomiske forhold, f.eks. hvornår de enkelte planeter er synlige og om Månen eventuelt forstyrrer, samt:

- Opgangs- og nedgangstider for Solen, Månen og planeterne, der er synlige med det blotte øje
- Kulminationstidspunkter for planeterne
- Slutningen og begyndelsen for det borgerlige, nautiske og astronomiske tusmørke, når Solen henholdsvis er 6° , 12° og 18° under horisonten
- Solens kulmination + 12 timer (f.eks. aflæses kl. 0:15 i natten mellem d. 4.1. til d. 5.1. – så kulminerer Solen kl. 12:15 d. 4.1.)
- Månens fase (kl. 0:00 DNT står for nymåne, kl. 1:00 DNT for fuldmåne og kl. 0:30 DNT for halvmånefaserne).

I tiden 30. marts - 25. oktober gælder dansk sommertid (DST), hvor tiderne på den nederste tidsskala skal anvendes og Solens nedgangs- og opgangstider er markeret med gule prikker. Resten af året gælder dansk normaltid (DNT), hvor den øverste tidsskala bruges og Solens nedgangs- og opgangstider er markeret med hvide prikker. Kalenderen kan hentes elektronisk med uddybende forklaring på web-adressen: <http://www.planetkalender.tk>