

# Isotoper fortæller om fortidens kost

*Ved at analysere knogler fra fortidens mennesker for isotoper af kulstof og kvælstof, kan man afsløre, om de spiste føde fra havet eller fra landjorden. At kende kosten er også vigtigt for at kunne lave præcise dateringer med kulstof-14.*

Af Jesper Olsen, Jan Heinemeier, Pia Bennike og Anders Fischer

■ I starten af 1980'erne fik mundheldet: "Du er hvad du spiser" en meget konkret betydning. Da demonstrerede Henrik Tauber på Nationalmuseets kulstof-14 laboratorium i København, at kulstofisotoper målt på knogler fra forhistoriske mennesker kunne afsløre deres foretrukne kost. Således kunne han berette, at overgangen fra ældre til yngre stenalder er forbundet med et markant skift i kost. I slutningen af ældre stenalder levede man i høj grad af mad fra havet, mens man i yngre stenalder skaffede sig det meste af føden fra landjorden. I populærvidenskabelige fremstillinger er stenalderens to tidsaldre ofte benævnt henholdsvis jægerstenalderen og bondestenalderen. På baggrund af den nye forskning foreslog Tauber, at der i stedet burde skelnes mellem jægerstenalder (tidlige dele af ældre sten-



Foto: Anders Fischer

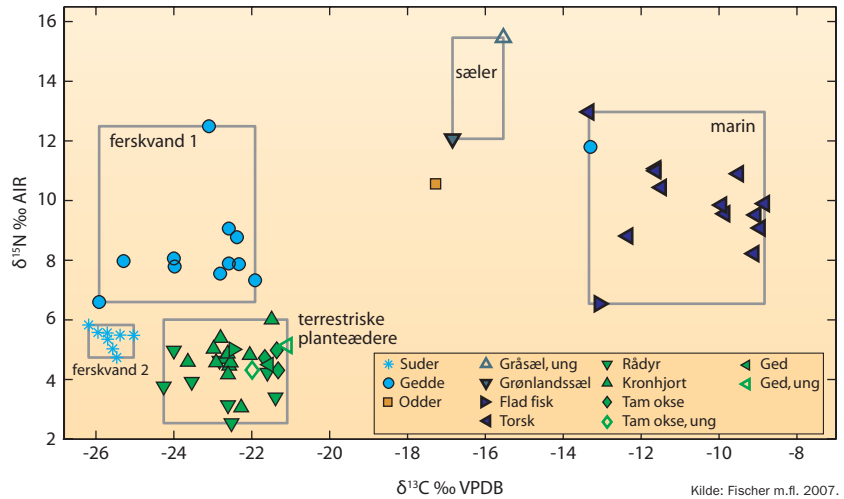
*Udgravning af stenalderboplads i Åmosen på Vestsjælland. Bevaringsforholdene for knogler er usædvanligt gunstige i denne mose.*

der), fiskerstenalder (sene dele af ældre stenalder) og bondestenalder (yngre stenalder).

Opdagelsen var også vigtig i forhold til at kunne lave præcise dateringer med kulstof-14. Det skyldes, at havet har en tilsyneladende alder på omkring 400 år. Populært kan man sige, at en kulstof-14 datering af levende marine fisk giver en alder på 400 år. Derfor vil dateringer af fortidsmennesker med en havbaseret kost være op til 400 år for gamle i forhold til deres rigtige alder. Vil man lave præcise kulstof-14 dateringer af menneskeknogler er det altså meget vigtigt at vide, hvilken kost de har spist. I dag bruger vi stabile isotoper til at kvantificere forhistoriske menneskers kostsammensætning og benytter denne viden til at korrigere deres kulstof-14 alder.

Figur 1. Figuren viser isotopværdier for en række danske dyr, indrammet efter deres levested. Således udgør terrestriske planteædere en kasse, marine fisk en anden og ferskvandsfisk udgør to kasser. Sidst har sæler fået deres egen kasse. Benytter man kulstof-isotopværdierne (x-aksen), kan man se, at værdierne falder i omtrent to hovedgrupper; en for terrestriske dyr og en for marine dyr (se boks 1).

De terrestriske planteædere har alle lave kvælstof-isotopværdier, hvorimod både ferskvandsfisk og marine fisk generelt har høje isotop-værdier. Sælerne viser de højeste kvælstof-isotopværdier, hvilket skyldes deres høje placering i fødekæden.



Kilde: Fischer m.fl. 2007.

### Dyrenes isotopværdier

Kulstof og kvælstof har hver to stabile isotoper. Kulstof-isotoperne har atommasserne 12 og 13 og kvælstof-isotoperne 14 og 15. Ved kemiske reaktioner vil den ene af isotoperne have en større sandsynlighed for at deltage i reaktionen end den anden. Således optager planter forholdsvis flere kulstof-12 atomer end kulstof-13 atomer gennem fotosyntesen. Når man måler på denne forskel, angiver man afvigelsen fra en standard i promille. Negative isotop-værdier betyder, at der er færre tunge isotoper og positive, at der flere tunge isotoper i forhold til standarden, som for kulstofs vedkommende er en bestemt marin kalksten, mens den for kvælstof er atmosfærisk luft.

For at kunne bedømme hvad forhistoriske mennesker har spist er det nødvendigt at kende isotopværdierne for deres foretrukne fødeemner. Det viser sig, at landdyr har kulstof-isotopværdier fra -24 ‰ til -21 ‰, hvorimod de marine dyr har kulstof-isotopværdier fra -13 ‰ til -9 ‰ (se figur 1). Man kan altså skelne landdyr fra marine dyr alene på baggrund af deres kulstof-isotopværdier. Dog har det vist sig, at ferskvandsfisk har kulstof-isotopværdier som er meget lig dem, man finder for landdyr.

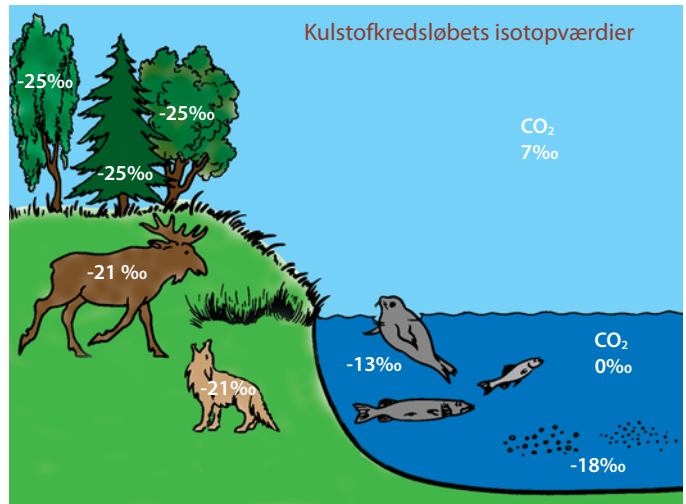
For at kunne skelne ferskvandsfisk fra landdyr er man derfor nødt til også at anvende kvælstof-isotoperne. Kvælstof-isotoperne afspejler hvilket niveau i

### Boks 1: Fraktionering af isotoper

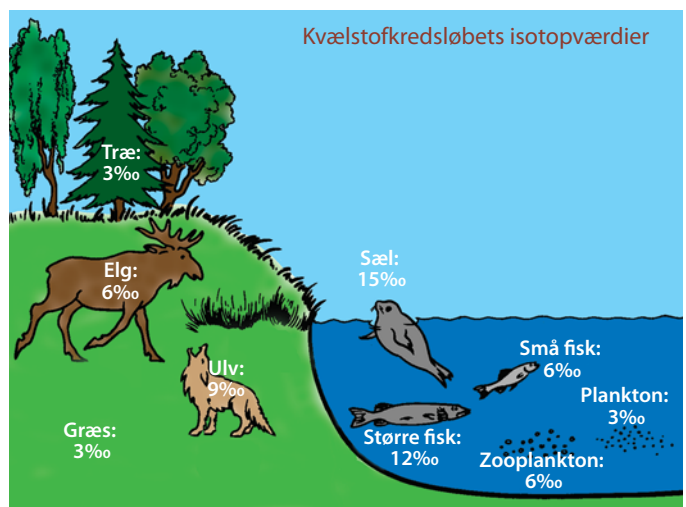
I kulstofkredsløbet sker der en fraktionering af kulstofisotoper. Når planter optager luftens kuldioxid via fotosyntesen, optager de relativt færre atomer af kulstof-13 end kulstof-12. Planter indeholder derfor færre kulstof-13 atomer end luftens kuldioxid. Planter, der lever i havet, optager ligeledes kuldioxid gennem fotosyntesen, men forholdene i havet adskiller sig fra dem på landjorden ved, at den kuldioxid, planterne i havet optager, først skal opløses i vandet. Når luftens kuldioxid optages i havet sker der også en fraktionering, således at opløst kuldioxid i havvand indeholder lidt flere kulstof-13-atomer end luftens kuldioxid.

Denne forskel på isotopindhold beskrives ved en isotopværdi, der angiver afvigelsen i kulstof-13 indholdet i forhold til en reference. Referencematerialet er en bestemt marin kalksten, hvis isotopværdi defineres som 0 ‰. Landplanter har således en kulstof-isotopværdi på -25 ‰, mens havplanter har værdier på -18 ‰. Man kan altså på denne baggrund skelne havplanter fra landplanter. Ligeledes kan man skelne marine dyr og terrestriske dyr på baggrund af deres kulstof-isotopforhold eftersom denne forskel bibeholdes op gennem fødekæden.

Med kvælstof-isotoperne er det muligt at skelne mellem fødekædeniveauer, idet der sker en berigelse af kvælstof-15 op gennem fødekæden. For hvert trin op i fødekæden, vil der relativt være flere og flere kvælstof-15 atomer i forhold til kvælstof-14. For kvælstofisotoperne opgiver man ligeledes en værdi i forhold til en reference, der i dette tilfælde er



Etter Kerstin Lidén, 1995.



Etter Kerstin Lidén, 1995.

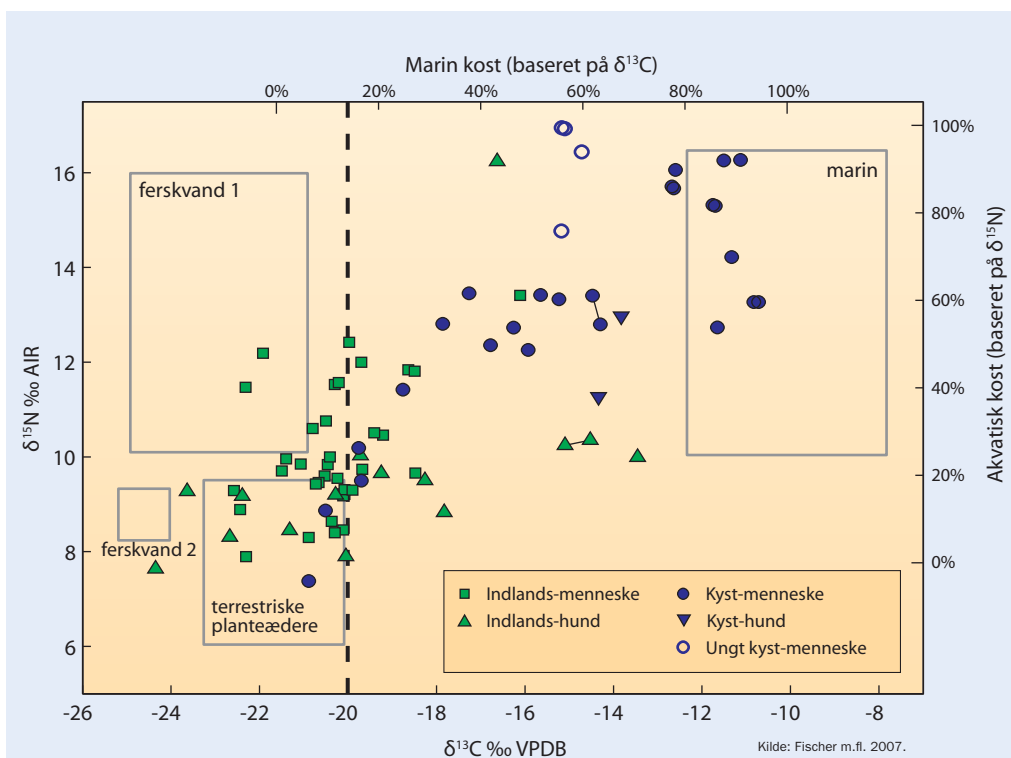
atmosfærisk luft. For hvert trin i fødekæden stiger isotopværdien med 3 ‰. Således stiger værdien fra ca. 3 ‰ for græs til ca. 6 ‰ for en elg, der jo lever af planter. Ulven har en værdi på 9 ‰, da den jo hovedsagligt lever af andre

dyr. Tilsvarende går de marine kvælstof-isotopværdier fra 3 ‰ for plankton helt op til 15 ‰ for sæler. Man kan bemærke hvorledes man med kvælstof-isotoperne kan se, at den marine fødekæde er meget længere end den terrestriske.



Foto: Anders Fischer

Ca. 7000 år gammel knogle af et 4-5-års-barn fra bopladsen på Argusgrunden i Smålandsfarvandet. De små huller er mærker efter udtagning af isotopprøver - som viste, at pågældende individ primært havde fået sin proteinkost fra havet, og på dødstidspunktet ikke længere blev ammet.



Kilde: Fischer m.fl. 2007.

Figur 2. Figuren viser målinger af isotopværdier af kulstof og kvælstof for forhistoriske mennesker og hunde fra Danmarks stenalder. Der skelnes mellem individer fra kyst og indland. Med kyst mennes lokaliteter, som befandt sig i direkte nærhed af datidens kystlinje. Lokaliteterne flere kilometer fra datidens kystlinje benævnes indland.

Fødeemne-kasserne fra figur 1 er overført til figur 2, og er rykket med +3 ‰ i kvælstof-isotopværdierne for at tage hensyn til skiftet i fødekædeniveau fra dyr til menneske (se boks 1). Kulstof-isotopværdierne er ligeledes rykket +1 ‰ for at tage hensyn til skiftet i fødekædeniveau fra dyr til menneske.

Hvis et individs isotopværdier er indeholdt i kassen for terrestriske planteædere, betyder dette, at individet har levet af terrestriske planteædere.

Tilsvarende har et individ indeholdt i den marine kasse fået sin føde fra havet. Befinder et individ sig derimod udenfor en af fødeemne kasser har vedkommende haft en kost bestående af fødeemner fra to eller flere kasser. Bemærk, at de unge individer har højere kvælstof-isotopværdier.

fødekedden, dyret befinder sig på. Hver gang man bevæger sig et skridt op i fødekæden, stiger kvælstof-isotopværdien med ca. 3 ‰ (se figur 1).

### Isotoperne sladrer om forhistorisk kost

Ved at måle kulstof og kvælstof-isotopværdier på forhistoriske menneskeknogler og sammenligne disse med isotopværdierne for dyr kan man vurdere menneskets fødegrundlag.

Vi har, som eksempel, brugt metoden til at undersøge kostsammensætningen hos mennesker og hunde fra Danmarks stenalder, primært Åmosen på Sjælland. Hunde æder ofte samme føde som deres herrer og kan derfor anvendes som stedfortrædere for mennesker i denne slags undersøgelser. Knoglerne stammer både fra kystbopladser og lokaliteter ved moser og søer flere kilometer fra datidens kystlinje. Analyserne viser, at kystindividerne hovedsagligt har haft en marin kost samt at indlandsindividerne hovedsagligt har haft en terrestrisk kost (se figur 2). Det viser sig dog også, at langt størstedelen af alle individer har haft en kost bestående af både marin og terrestrisk føde, samt at enkelte har haft en kost hvor ferskvandsfisk har været en ret stor bestanddel.

Hvis et individ har kulstof-isotopværdier højere end -20 ‰, har det med sikkerhed haft et marint fødeindtag. Når et individ fra en indlands-lokalitet har så høje kulstof-isotopværdier, betyder det, at dette individ har haft mulighed for at benytte sig af havets ressourcer ved eksempelvis at have tilbragt en del af året ved kysten eller gennem samhandel med folk bosat ved kysten. På denne måde fortæller isotopværdierne også noget om menneskernes adfærd.

En sjov detalje er, at meget unge individer har relativt høje kvælstof-isotopværdier. De ligger således højere i fødekæden end ældre individer. Dette kan skyldes, at de er blevet ammet og modermælken på denne måde har placeret spædbarnet højere i fødekæden.

## Aldersbestemmelse med kulstof-14

Lige så vigtigt det er at have kendskab til hvad vore forfædre spiste, lige så vigtigt er det at vide hvornår de levede. Aldersbestemmelse foregår med kulstof-14 metoden, hvor man udnytter at kulstof-14 er radioaktivt, samt at kulstof indgår i alle levende organismer (se boks 2). Problemet er blot, at et højt indtag af fisk – hvad enten de stammer fra ferskvand eller havet – giver en tilsyneladende kulstof-14-alder, som er ældre end den sande alder. Dette kaldes reservoir-effekter og skyldes for havets vedkommende, at nutidigt overfladevand opblandes med gammelt vand fra dybhavet. I alt betyder denne effekt, at havets overfladevand, dvs. kulstoffet i dets bikarbonatindhold, som nævnt er 400 år gammelt. I ferske vande er problemstillingen langt mere kompleks, og der kan ikke gives nogen bestemt alder for reservoir-effekten. Det skyldes, at søer i de fleste tilfælde fødes af grundvand, som kan være gammelt, og ikke mindst at Danmarks undergrund har en høj forekomst af fossilt kalk, som opløses i grundvandet. I denne kalk er der ingen kulstof-14 atomer, fordi den fossile kalk i forhold til halveringstiden på 5730 år er "uendelig" gammel. Ferskvands-reservoiralderen er således meget varierende og lader sig ikke let kvantificere. For eksempel er reservoir-effekten i nutidige fisk fra Aunsø og Tissø ved Kalundborg bestemt til henholdsvis ca. 700 og 1000 år.

## Ny model korrigerer alderen

Vi har udarbejdet en model, som gør det muligt at anslå en korrektion for reservoir-effekten på individer med fiskebaseret kost. For kulstof kan man antage, at en kulstof-isotopværdi på -21,6 ‰ svarer til 0 % marin føde, og at en kulstof-isotopværdi på -10 ‰ svarer til 100 % marin føde (se figur 2). Et individ med en kulstof-isotopværdi på ca. -16 ‰ kan på denne baggrund tolkes at have en kost bestående af 50 % marin føde, og vedkommendes kulstof-14-alder vil dermed være 200 år for

## Boks 2: Datering med kulstof-14

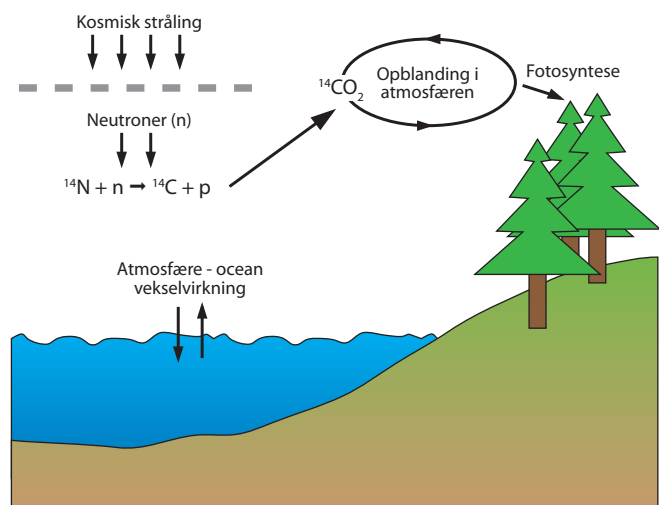
Kulstof-14 er en radioaktiv variant af almindeligt kulstof, som dannes højt oppe i atmosfæren, når kosmisk stråling vekselvirker med atmosfærens kvælstofatomer (se figur). De dannede kulstof-14 atomer iltes til kuldioxid, som på kort tid opblandes jævnt i hele atmosfæren. Ved fotosyntese optages kuldioxiden af planterne og dermed optages også noget af den radioaktive kulstof-14. Herefter vandrer kulstof-14 videre via føden fra planter over i dyr og mennesker. Alle levende organismer indeholder derfor små mængder af kulstof-14. Optagelsen af kulstof-14 ophører, når organismene dør, hvorefter indholdet af kulstof-14 langsomt vil aftage i takt med, at kulstof-14-atomerne henfalder til kvælstof-atomer.

For at kunne beregne en alder skal man dels kende prøvens oprindelige indhold af kulstof-14 og dels måle prøvens nuværende indhold af kulstof-14. Ud fra halveringstiden for kulstof-14 kan prøvens alder så beregnes. Halveringstiden for kulstof-14 er bestemt til 5730 år, men af historiske grunde anvendes en halveringstid på 5568 år ved kulstof-14 dateringer.

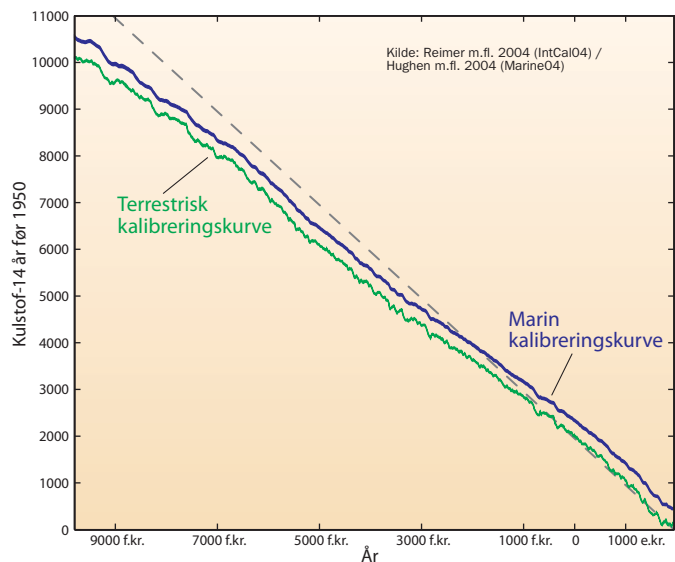
Da kulstof-14 metoden blev grundlagt af W.F. Libby i årene 1947 – 1951 antog man, at indholdet af kulstof-14 i atmosfæren i fortiden svarede til nutidens indhold. Senere har det vist sig ikke at være tilfældet, blandt andet fordi styrken af jordens magnetfelt varierer gennem tid, hvilket har indflydelse på dannelsen af kulstof-14.

For at kende fortidens kulstof-14 indhold har man derfor konstrueret en kalibreringskurve ved at måle indholdet af kulstof-14 i træringe 12.400 år tilbage i tiden (se figur). Da træer får deres kulstof-14 via fotosyntese er deres indhold af kulstof-14 i ligevægt med atmosfærens indhold.

For at lave en korrekt aldersbestemmelse er man også nødt til at tage hensyn til isotopfraktionering (se boks 1). Via fotosyntesen optager planter relativt færre kulstof-13 atomer og kulstof-14 atomer end kulstof-12 atomer. For at korrigere for dette benytter man de stabile isotoper kulstof-12 og kulstof-13 til at udregne, hvor mange færre eller flere kulstof-14 atomer, der ville have været, hvis der ingen isotopfraktionering havde fundet sted.



Skitse over kulstof-14 produktion og kulstofkredsløbet.

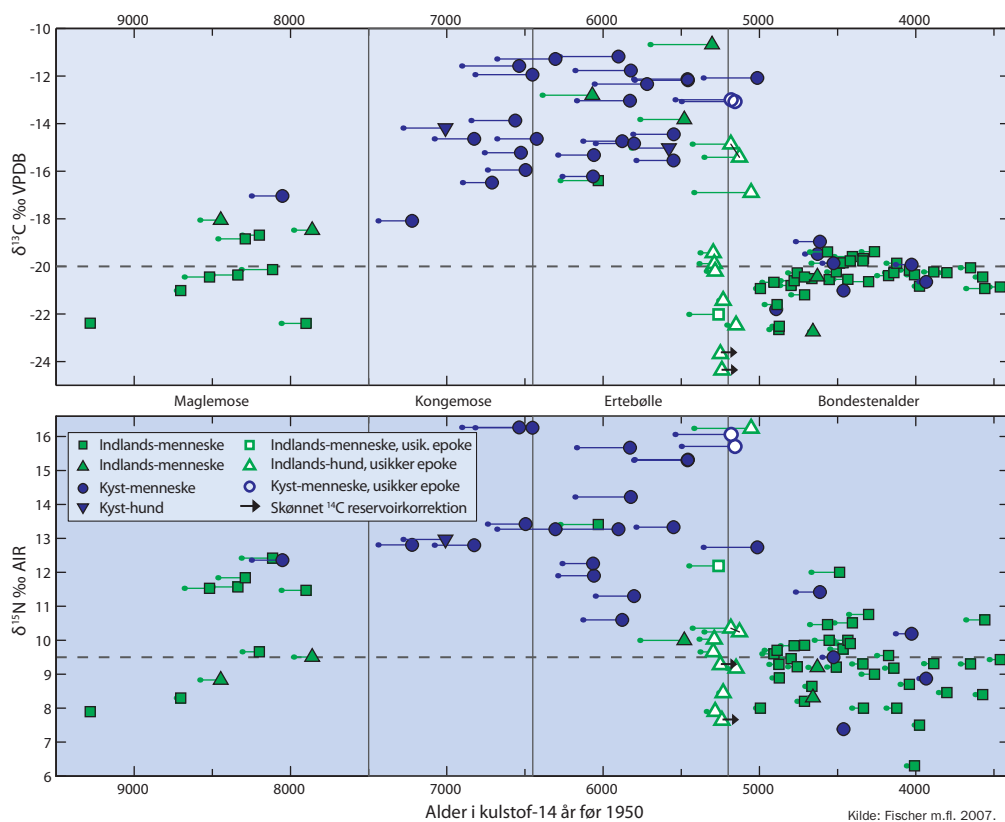


Kalibreringskurver for kulstof-14-indhold for hhv. hav (blå) og land (grøn). Den stiplede linje angiver, hvordan landkurven ville have set ud, hvis atmosfærens indhold af kulstof-14 havde været konstant gennem tiden.

For havets organismer er det ikke tilsvarende ligetil at lave en aldersbestemmelse. Luftens kuldioxid opløses i havoverfladen og danner bikarbonat-ioner ( $\text{HCO}_3^-$ ). Under vekselvirkningen mellem luftens kuldioxid og det opløste kuldioxid i havet sker der også en isotopfraktionering således, at flere kulstof-14 og kulstof-13 atomer optages i vandet i forhold til kulstof-12 atomer. Dermed bliver indholdet af kulstof-14 i havoverfladen større end atmosfærens kulstof-14 indhold. Dernæst opblandes overfladevandet med gammelt

vand fra dybhavet, hvor kulstof-14-atomer er meget fåtallige. Til sammen giver vekselvirkningen med atmosfærens kulstof-14 og dybhavets lave kulstof-14 indhold en alder for havoverfladen på omtrent 400 år.

Ved brug af en computermodel har man konstrueret en marin kalibreringskurve ud fra den terrestriske kalibreringskurve og under hensyntagen til udvekslingen af kulstof-14 atomer mellem atmosfæren og havets overfladevand samt mellem dybhavet og havets overfladevand.



Figur 3. Figuren viser kulstof-14 alderen som funktion af kulstof- og kvælstofisotopværdier for forhistoriske mennesker og hunde fra Danmarks stenalder. Der skelnes mellem individer fra kyst og indland. Med kyst menes lokaliteter, som befandt sig i direkte nærhed af datidens kystlinje. Lokaliteterne flere kilometer fra datidens kystlinje benævnes indland. Det er tydeligt, at slutningen af ældre stenalder (epokerne Kongemose og Ertebølle) er karakteriseret ved et højt indtag af marin føde i forhold til yngre stenalder, hvor marin føde tilsyneladende stort set ingen rolle spiller (se figur 3). Ligeledes er det tydeligt at skiftet i fødegrundlag fra ældre til yngre stenalder er dramatisk og hurtigt.

gammel (50 % af havets reservoiralder på 400 år). Tilsvarende kan man antage, at en kvælstofisotopværdi på 7,5 ‰ svarer til 0 % akvatisk kost (både fersk og marin), samt at en værdi på 16 ‰ svarer til 100 % akvatisk. Antages det yderligere for simpelhedens skyld, at ferskvandsreservoiralderen også er 400 år kan man ud fra kvælstofisotoperne udregne et individs reservoiralder på samme måde som med kulstof-isotoperne. Vi har altså nu to måder at udregne et individs reservoiralder på, og tager man den største af de to, har man et overslag over hvor meget for gammel vedkommendes kulstof-14 alder er.

### Dramatisk skift i valget af føde

Hvis man plotter data fra vores undersøgelser af knogler fra stenaldermennesker som funktion af deres kulstof-14 aldre,

er det tydeligt, at slutningen af ældre stenalder (epokerne Kongemose og Ertebølle) er karakteriseret ved et højt indtag af marin føde i forhold til yngre stenalder, hvor marin føde tilsyneladende stort set ingen rolle spiller (se figur 3). Skiftet i fødegrundlag fra ældre til yngre stenalder er dramatisk og hurtigt. Dette var, hvad Tauber bemærkede allerede tilbage i starten af 1980'erne. Men Tauber havde ikke kvælstof-isotopdata til rådighed, og netop kvælstof-isotopværdierne afslører, at bondestenalderens mennesker også havde ferskvandsfisk på menukortet. Ligeledes kan man se, at kystindivider fra ældre stenalder ikke har en 100 % marin kost. De udnyttede også skovene omkring dem til at gå på jagt i – hvad der jo i øvrigt også ses af de mange knogler af skovens vildt i datidens køkkenmøddinger. Bemærkelsesværdigt

er det, at med bondestenalderen synes også kystindivider at have omstillet sig til en hovedsageligt landbaseret kost.

Hvorfor så denne bratte overgang fra ældre stenalder jægerfisker-tilværelse til yngre stenalder antagelig mere arbejdskrævende liv som bønder? Dette spørgsmål lader sig ikke let besvare og er til stadighed til diskussion. Nogle foreslår, at tilskyndelsen til den ændrede levevis skal søges i de kulinariske og sociale muligheder, som knyttede sig til landbrugets nærings- og nydelsesmidler. Andre mener, at landbruget kom med indvandrere sydfra. Andre igen mener, at overgangen fra jægerstenalder til bondestenalder var så brat, at udefrakommende faktorer som klimændringer har tvunget jægerstenalderens mennesker til at omstille sig til landbruget for at sikre et fornuftigt og stabilt fødegrundlag. ■

### Om forfatterne

Jesper Olsen er postdoc. ved Geologisk Institut, Aarhus Universitet  
E-mail: jesper.olsen@geo.au.dk

Jan Heinemeier er lektor og centerleder for AMS Dateringscenteret ved Aarhus Universitet  
E-mail: jh@phys.au.dk  
www.c14.dk

Pia Bennike er lektor ved Antropologisk Laboratorium, Retsmedicinsk Institut, Københavns Universitet  
E-mail: bennike@antrolab.ku.dk

Anders Fischer, gæsteforsker ved Kalundborg Museum  
E-mail: afklb@privat.dk

### Videre læsning

Arneborg, J., J. Heinemeier, N. Lynnerup, H. L. Nielsen, N. Rud. and A. E. Sveinbjörnsdóttir (2002). "C-14 dating and the disappearance of Norsemen from Greenland." *Europhysics News* May/June.

Fischer, A., J. Olsen, M. Richards, J. Heinemeier, Á. E. Sveinbjörnsdóttir and P. Bennike (2007). "Coast-inland mobility and diet in the Danish Mesolithic and Neolithic - evidence from stable isotope values of humans and dogs." *Journal of Archaeological Science* 34: 2125-2150.

Heinemeier, J., H. L. Nielsen and N. Rud (1992). "Kulstof-14 datering med accelerator." *Naturens Verden*: 371.

Tauber, H. (1981). *Kostvaner i forhistorisk tid - belyst ved C-13 målinger*. In Egevang, R. (ed.) *Det skabende menneske*. Nationalmuseet, København..

Tauber, H. (1992). *40 år med Kulstof-14 dateringsmetoden*. Nationalmuseets arbejdsmark, Nationalmuseet.