

Nr. 4-2008 Isotoper fortæller om fortidens kost

Fag: Fysik A/B, Biologi A/B

Udarbejdet af: Ole Ahlgren, Rønne Gymnasium, april 2009

Spørgsmål til artiklen

1. Stenalderen opdeles i flere aldre. Hvad hedder disse, og hvordan har man ernæret sig i disse perioder?
2. Hvilke naturligt forekommende isotoper har C og N?
3. Hvad forstår man ved $\delta^{13}\text{C}$ og hvad betyder det for isotopsammensætningen, at $\delta^{13}\text{C}$ i en plante er f.eks. -25‰ ? Hvilken af kulstofisotop, ^{13}C eller ^{12}C i CO_2 har planter nemmest ved at optage ved fotosyntesen?
4. Hvordan kan man ud fra $\delta^{13}\text{C}$ skelne mellem landdyr og havdyr?
5. Planter har en $\delta^{15}\text{N}$ på 3‰ . Hvilken N-isotop har planter nemmest ved at optage?
6. I den nederste figur i boks 1 er vist $\delta^{15}\text{N}$ for forskellige organismer. Hvad afhænger værdierne af? Passer det med værdierne for de viste dyr? I elgen er der angivet et forkert tal. Hvad skal det rigtige tal være?
7. På figur 1 er indtegnet isotopsammensætningen for nogle saltvandsfisk og nogle landlevende planteædere. Forklar, i lyset af de ovenstående spørgsmål, hvorfor de er placeret i diagrammet som de er. Hvor ville landlevende rovdyr være placeret?
8. I figur 2 er indtegnet isotopsammensætningen for forhistoriske mennesker bosat dels ved kysten, dels inde i landet. Forklar, hvordan man kan vurdere, hvad de har levet af. Nogle af menneskene bosat inde i landet har også haft fisk på menuen. Nævn nogle grunde til, at de kan have haft det.
9. ^{14}C -metoden. Forklar kort princippet i ^{14}C -datering. Hvorfra kommer det ^{14}C , der er i atmosfæren? ^{14}C -indholdet i atmosfæren svinger lidt gennem tiderne. Hvad kan grunden være til, at der ikke dannes lige meget ^{14}C hele tiden? Hvordan korrigerer arkæologerne for dette svingende indhold, når de laver ^{14}C -datering?
10. Overfladevandet i havet bliver over tid opblandet med dybhavsvand. Hvorfor er der stort set ingen ^{14}C i vandet fra store havdybder? Denne opblanding giver et lavere ^{14}C -indhold i overfladevandet. Hvorfor vil dette resultere i en for høj udregnet alder (f.eks. 400 år) ved en ^{14}C -datering af havdyr?
11. Hvordan korrigerer man den fundne datering af fortidsmennesker, hvis de f.eks. har levet halvt af fisk og halvt af terrestrisk føde?

12. Figur 3 viser $\delta^{13}\text{C}$ i mennesker fra 3000 år til 9000 år tilbage i tiden. Hvad skete der med kosten ved overgangen fra Ertebølletiden (slutningen af ældre stenalder) til bondestenalder (yngre stenalder). Hvordan kan dette udledes ud fra figuren? Nævn nogle mulige grunde til dette skift i ernæring.

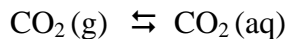
Uddybende opgaver og spørgsmål

13. **Isotoper.** Find de naturligt forekommende isotoper af C og N i en tabel, f.eks. Databogen og angiv deres relative hyppigheder. Angiv også, hvor mange neutroner og protoner deres kerner består af.

14. **Fotosyntesen.** Planternes optagelse af CO_2 ved fotosyntesen kan i simpel form skrives
$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2$$

$^{12}\text{CO}_2$ optages nemmere end $^{13}\text{CO}_2$, derfor bliver der et underskud af ^{13}C i planter, $\delta^{13}\text{C}$ er negativ.

- a. Brug værdierne for $\delta^{13}\text{C}$ i boks 1 i artiklen til at beregne, hvor meget $\delta^{13}\text{C}$ aftager ved fotosyntesen (bemærk fejl i figuren, $\delta^{13}\text{C}$ i luften skal være -7‰).
 CO_2 i luften er i ligevægt med CO_2 i havet,



Ligevægten for $^{13}\text{CO}_2$ er forskudt mere mod højre end for $^{12}\text{CO}_2$, dvs. $\delta^{13}\text{C}$ vil være større i havvand end i luften.

- b. Hvor meget stiger $\delta^{13}\text{C}$ ved optagelse af CO_2 fra luften til vandet?
c. Hvor meget falder $\delta^{13}\text{C}$ ved fotosyntesen i havet?

15. Fødekæder.

- a. Tegn nogle fødekæder i havet op på land, der involverer de organismer, der er vist på figuren i boks 1 i artiklen.

Af artiklen fremgår det, at $\delta^{13}\text{C}$ bibeholdes op gennem en fødekæde, mens $\delta^{15}\text{N}$ stiger med 3‰ for hvert led.

- b. Indtegn $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ for hver organisme i fødekæderne.
c. Organismer udskiller nitrogen i form af ^{15}N -forarmet urea (urinstof), derfor bliver organismene selv ^{15}N -berigede i forhold til deres kost. Berigelsen er ca. 3‰ pr. trofisk niveau. Hvad forstås ved trofisk niveau? Hvad anvendes N især til i planter og dyr?

16. ^{14}C datering.

Opskriv processerne for hhv. dannelse og henfald af ^{14}C . (^{14}C er β^- aktivt).

- a. Det nævnes i artiklen, at jordens magnetfelt har betydning for mængden af dannet ^{14}C . Undersøg, hvordan dette kan hænge sammen.

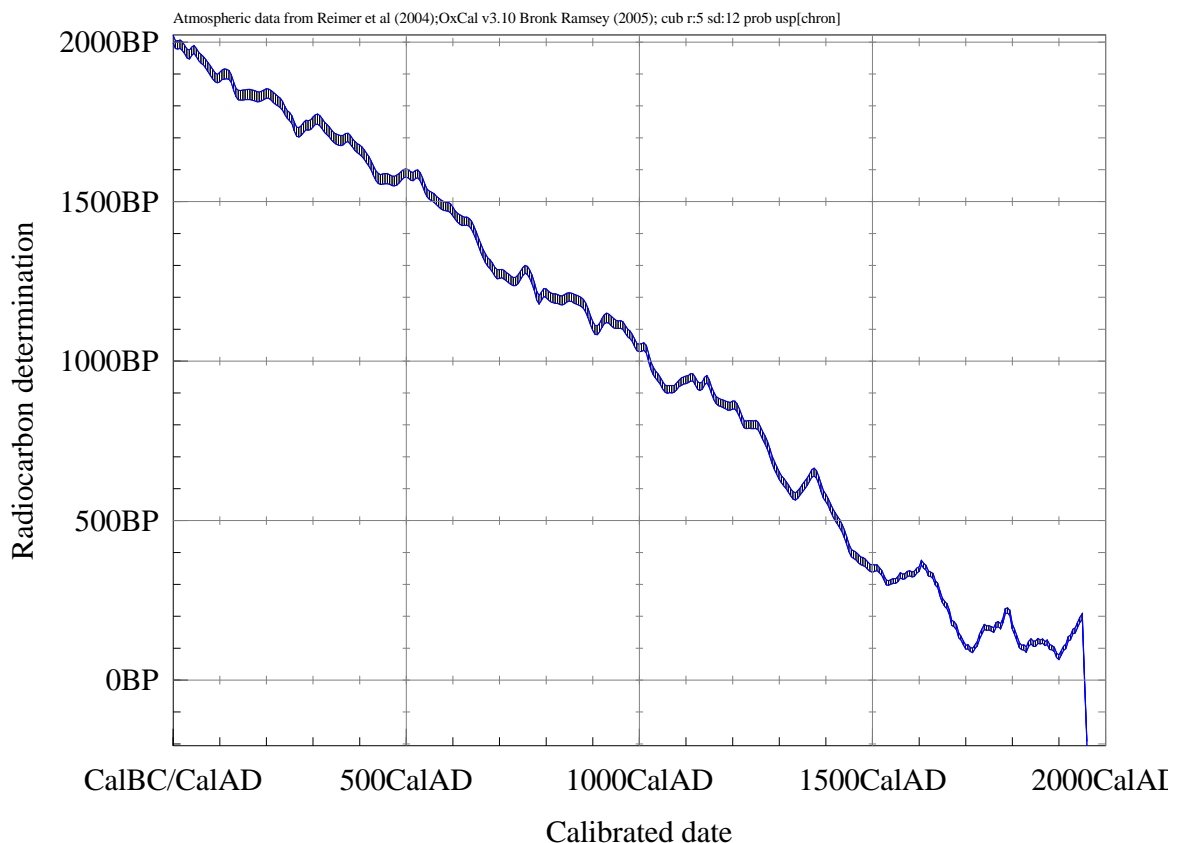
b. Opskriv henfaldsloven, altså mængden af et radioaktivt stof som funktion af tiden.

I atmosfæren i dag udgør mængden af ^{14}C i forhold til ^{12}C $1,2 \cdot 10^{-12}$. I en gammel knogle finder man forholdet $1,0 \cdot 10^{-12}$. Dette forhold måles med massespektrometer, AMS. Vi antager, at mængden af ^{14}C i atmosfæren har været konstant. Halveringstiden er egentlig 5730 år, men af historiske årsager sættes den til den værdi, man troede den havde da metoden blev udviklet i 1950, nemlig 5568 år. Det betyder intet, da alderen alligevel skal korrigeres, se næste opgave.

c. Hvor gammel er knoglen under disse forudsætninger?

17. Korrektion af ^{14}C -datering. Da mængden af ^{14}C i atmosfæren ikke har været konstant gennem tiden har man lavet en kalibreringskurve ud fra årringe i træ (dendrokronologi) og måling af resterende ^{14}C i årringene. Kalibreringskurven ses i boks 2 i artiklen. Nedenfor ses et udsnit af denne kurve. (BP står for år "før nu" hvilket skal forstås som før 1950, AD er årstal i vor tidsregning).

a. Brug aldersbestemmelsen fra den forrige opgave til at finde den korrigerede alder af knoglen.



I dette udsnit af kalibreringskurven står BP for år "før nu" hvilket skal forstås som før 1950. AD er årstal i vor tidsregning. Egen figur baseret på programmet OxCal, <http://c14.arch.ox.ac.uk/embed.php?File=oxcal.html>.

Det viser sig nu, at knoglen har en $\delta^{13}\text{C}$ på -16‰ og personen, den stammer fra har derfor levet af 50% føde fra havet. Vi skal derfor yderligere korrigere for havvandets "alder" i ^{14}C -mæssig forstand.

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab* •
- Se mere på www.aktuelnaturvidenskab.dk •

b. Hvilket år stammer knoglen da egentlig fra?

18. Ertebøllekulturen. Søg på nettet (f.eks. Wikipedia) eller andre steder efter informationer om ertebøllekulturen. Hvornår fandtes den, hvor og af hvad levede man, hvad finder man i deres køkkenmøddinger, hvad var deres redskaber lavet af, hvordan var klimaet? Begrund ud fra figur 3, at de spiste meget fisk.

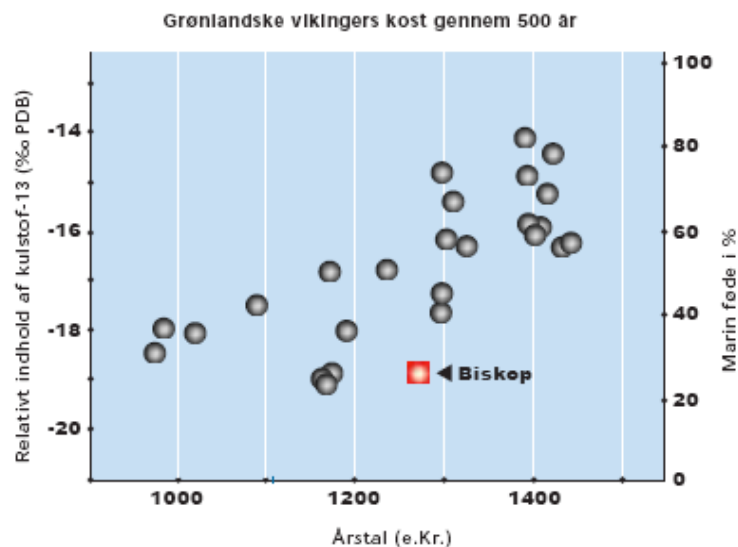
Find på tilsvarende måde oplysninger om **bondestenaldren**. Hvad viser figur 3 om kosten på den tid?

Perspektiverende opgaver og spørgsmål

19. Vikingerne i Grønland. Der har været lavet undersøgelse af, hvad nordboerne, som bosatte sig i Grønland, levede af ud fra isotopsammensætningen af knoglerester fra dem.

a. Undersøg, i hvilken tidsperiode der var nordboere i Grønland.

b. Figuren herunder viser $\delta^{13}\text{C}$ og procentdel af maritim føde. Gør rede for, at tallene på de to akser passer sammen.



Ref: <http://fi.dk/publikationer/2002/polarfronten-2-02/PF202.pdf>

c. Beskriv deres kost gennem den periode, hvor de boede i Grønland.

d. Søg oplysninger om, hvilke teorier der er fremsat om, hvorfor nordboerne forsvandt fra Grønland, se f.eks. <http://www.carlsbergfondet.dk/Ars/readfile.php?id=89>.

20. Nyt ^{14}C . Fra 1955 til 1963 blev der foretaget mange atomprøvesprængninger i atmosfæren. Derved tilførtes atmosfæren store mængder ^{14}C , som omdannedes til CO_2 . Dette store overskud blev gradvis optaget i havene. Denne såkaldte bombepuls kan bruges til at aldersbestemme nyt organisk materiale, f.eks. organer i levende mennesker, følg linket [her](http://www.videnskab.dk/content/dk/krop_sundhed/kraftknuders_alder_kan_afsløres_med_kulstof-14-datering): http://www.videnskab.dk/content/dk/krop_sundhed/kraftknuders_alder_kan_afsløres_med_kulstof-14-datering

- a. Læs artiklen og forklar, hvordan dette gøres.
- b. Vil dette ekstra ^{14}C påvirke datering af gammelt materiale?

21. Nulevende menneskers kost. Ved at bestemme isotopsammensætningen af f.eks. et stykke negl kan man fastslå, hvad personer lever af. Person A har $\delta^{13}\text{C} = -22\text{‰}$ og $\delta^{15}\text{N} = 8\text{‰}$. En anden person B har $\delta^{13}\text{C} = -10\text{‰}$ og $\delta^{15}\text{N} = 15\text{‰}$.

- a. Hvad lever de to personer primært af?
- b. Hvilke omtrentlige værdier af $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ vil en vegetar have?

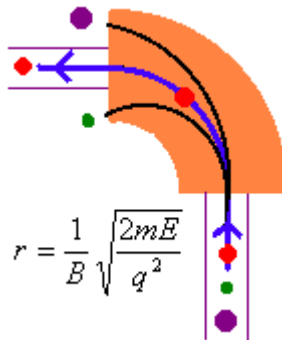
22. Fossile brændsler. Værdien for $\delta^{13}\text{C}$ i atmosfæren på -7‰ er en præindustriel værdi, altså værdien, inden vi begyndte at udlede CO_2 fra fossile brændsler. Fossile brændsler, altså kul, olie og gas er dannet ud fra planterester (kul) og plankton (olie og gas).

- a. Hvilken omtrentlige værdi for $\delta^{13}\text{C}$ kan man forvente i de fossile brændsler?
- b. I hvilken retning vil afbrænding af fossile brændsler påvirke værdien af $\delta^{13}\text{C}$ i atmosfæren?

23. AMS, AtomMasseSpektrometri.

Nedenstående er både en opgave og baggrundsstof om massespektrometri. Massespektrometri kan bl.a. anvendes til at separere isotoper af et grundstof og anvendes inden for arkæologien til at bestemme mængden af ^{13}C eller ^{14}C i forhold til ^{12}C eller ^{15}N i forhold til ^{14}N .

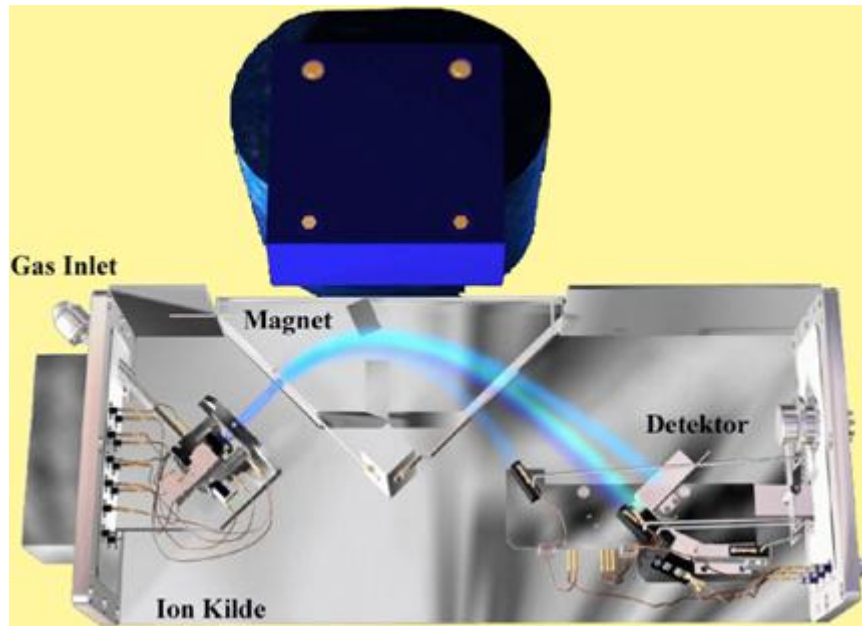
Metoden bygger på det fysiske forhold, at ladede partikler, der bevæger sig gennem et homogent (ensartet) magnetfelt afbøjes og bevæger sig i en cirkelbane. Fænomenet kendes fra, at protoner fra solen indfanges i jordens magnetfelt, bevæger sig i cirkler (eller snarere spiraler) omkring feltlinierne ned mod polerne og opbremses i atmosfæren, hvilket giver anledning til polarlys. Det kendes også fra et billedrørsfjernsyn, hvor elektroner afbøjes af et magnetfelt inde i billedrøret og kan styres hen over skærmen.



På figuren ses, hvordan partikler følger forskellig bane afhængig af deres masse. Magnetfeltet i det orange område har retning vinkelret på figurens plan. Baneradius er givet ved den viste formel, hvor B er magnetfeltstyrken, m er partklens masse, E dens bevægelsesenergi og q dens ladning.

- a. Argumenter for, hvilken af de tre viste partikler der er tungest og hvilken der er lettest, hvis de har samme ladning og bevægelsesenergi.

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet Aktuel Naturvidenskab •
- Se mere på www.aktuelnaturvidenskab.dk •



Begge figurer er fra <http://www.phys.au.dk/tilbud/pages/ams/vejledning.pdf>

På denne figur er vist princippet i en massespektrograf. I ionkilden ioniseret gassen (CO_2 eller N_2 , dannet ud fra prøven) til positive ioner. Disse accelereres af en høj spænding og rammer ind i magnetfeltet. I magnetfeltet afbøjes partiklerne, hvis antal derefter registreres med detektoren. Detektorens position er fast, og ved at variere magnetfeltet bestemmes det, hvilke isotoper, der rammer ind i detektoren. Man kan også variere accelerationsspændingen i stedet for magnetfeltet.

- Hvis man først detekterer ^{12}C , skal man da skrue ned eller op for magnetfeltet for at detektere ^{13}C ?
- Dinitrogen, $^{14}\text{N}_2$ ioniseres (enkeltladet) og accelereres af en spænding på 1000 V og sendes derefter ind i et magnetfelt på 0,10 T. Bestem baneradius inde i magnetfeltet. Find selv de nødvendige talværdier i f.eks. Databogen. Hvis molekylet i stedet er $^{15}\text{N}^{14}\text{N}$, hvilken værdi skal magnetfeltet da have, for at baneradius bliver den samme?

Til læreren

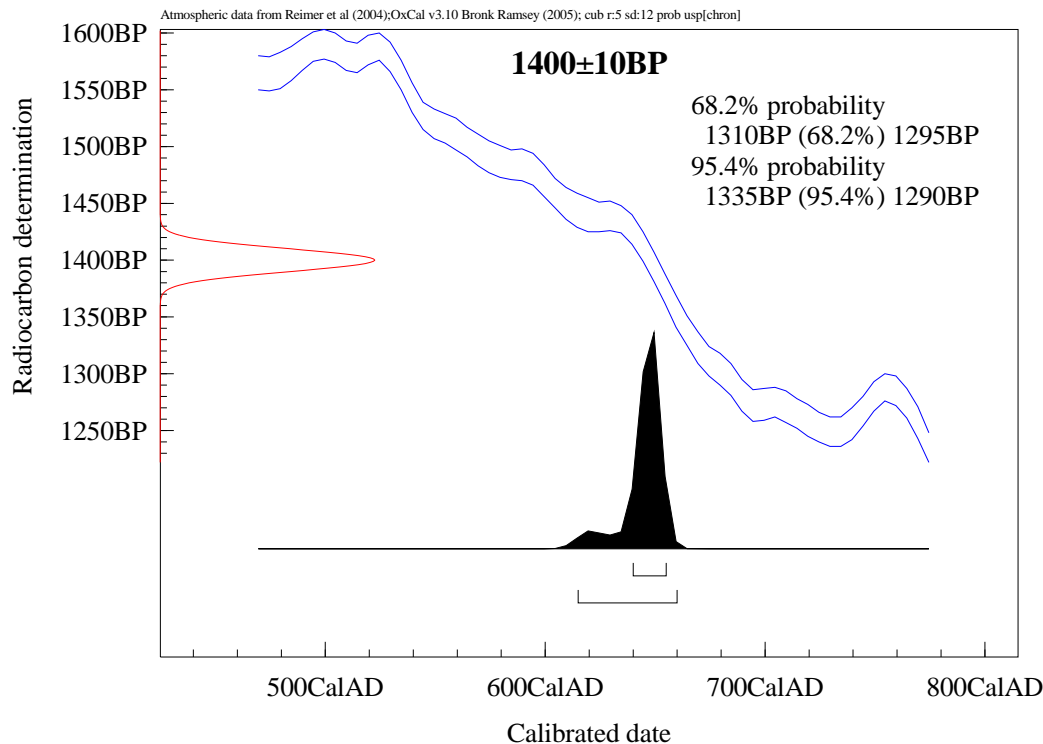
Emnet omfatter både biologi og fysik. Nogle af opgaverne er ren fysik, andre er ren biologi, så der må sorteres efter elevernes forudsætninger.

Artiklen omhandler grundlæggende to forskellige problemstillinger. Dels hvordan isotoper kan anvendes til at skelne mellem marine og terrestriske organismer, det trofiske niveau samt bestemme kostens sammensætning, dels hvordan en ^{14}C -datering laves, incl. korrektion. Kombinationen kommer så, da ^{14}C -dateringen skal korrigeres yderligere, hvis der indgår marine organismer eller marin kost. Det er vigtigt for eleverne at holde sig denne skelnen for øje.

På denne adresse fra Oxford Universitetet <http://c14.arch.ox.ac.uk/embed.php?File=oxcal.html> kan man hente det program, som arkæologerne bruger til at korrigere en ^{14}C -datering. I programmet

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab* •
- Se mere på www.aktuelnaturvidenskab.dk •

indtaster man alder og usikkerhed fundet ud fra henfaldsloven (regnet fra år 1950) og output er den kalibrerede alder med usikkerhedsinterval. Output kan f.eks. se sådan ud :



Her er indtastet ^{14}C -alderen 1400 (før år 1950) \pm 10 år. Det kalibrerede årstal aflæses på 1.aksen. Kalibreringsfiguren fra boks 2 i artiklen eller opgave 5 kan også fås fra programmet. På ovennævnte adresse er der en uddybende vejledning til programmet.

Da kalibreringskurven inden for små tidsintervaller godt kan svinge en del op og ned kan man tit komme ud for, at en ^{14}C -alder kan give flere mulige kalibrerede aldre. En aldersbestemmelse kan da kun laves, hvis man på samme fundesteds har flere fund med lidt forskellig alder, f.eks. træ med årringe, så man kan fastslå en kronologi.

Århus Universitet tilbyder eleverne en øvelse om bestemmelse af ^{13}C og ^{15}N med massespektrometri, se <http://www.phys.au.dk/tilbud/amsoev.shtm>

Relateret materiale

Kulstof-14 datering med accelerator <http://www.tidsskriftetgronland.dk/archive/1997-5-Artikel08.pdf>

Om Tollundmandens datering <http://www.tollundmanden.dk/kulstof-14.asp>

Mimik Rosings teori for organisk oprindelse af 3,8 milliarder år gamle kulstofaflejringer <http://viden.jp.dk/galatea/undervisning/temaartikler/default.asp?cid=11221>

Viden Om udsendelse **På sporet af mennesket** 13. juli 2004, undersøgelse af knogler fra Åmosen. <http://www.dr.dk/DR2/VidenOm/Programmer/2004/07/20070706134732.htm>
Indslaget starter 10 min. inde i udsendelsen.