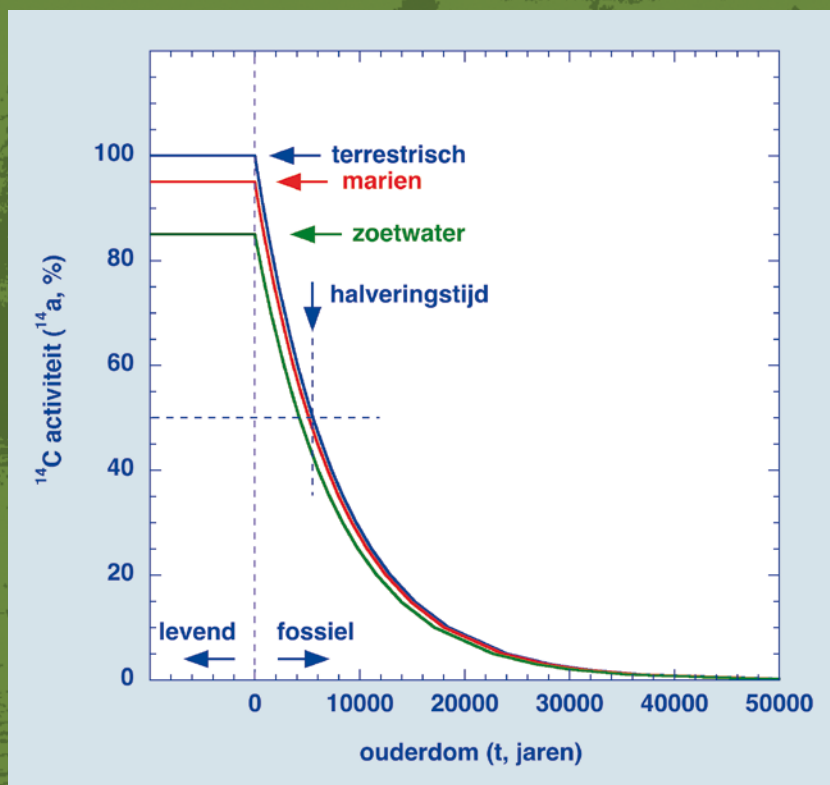




AFBEELDING 1. | Het radioactief verval van ^{14}C na de dood van een organisme (blauwe curve). De rode en groene curves worden besproken in het hoofdstuk over reservoir effecten.

Datering met de ^{14}C methode

J. VAN DER PLICHT
CENTRUM VOOR ISOTOPEN
ONDERZOEK,
RIJKSUNIVERSITEIT GRONINGEN
& FACULTEIT ARCHEOLOGIE,
UNIVERSITEIT LEIDEN
J.VAN.DER.PLICHT@RUG.NL

In de natuur komen drie verschillende isotopen van het element koolstof voor: de stabiele isotopen ^{12}C (ca. 99%) en ^{13}C (ca. 1%), en het radioactieve isotoop ^{14}C ($< 10^{-10}$ %). Dit laatste isotoop heeft een halveringstijd van 5730 jaar en wordt continu geproduceerd door kernreacties van neutronen (geproduceerd door kosmische straling) met stikstof in de atmosfeer. Het bevindt zich in de atmosfeer in de vorm van $^{14}\text{CO}_2$. Indien we aannemen dat het transport en de produktie van ^{14}C zich in de loop van de tijd hebben gestabiliseerd, is de ^{14}C activiteit van atmosferische CO_2 constant, en daarmee ook die in de rest van de biosfeer. In werkelijkheid bestaan er variaties welke de 'ijkproblematiek' veroorzaken (zie hieronder).

Via de fotosynthese komt het ^{14}C in planten, en vervolgens ook in mens en dier terecht; in de terrestrische biosfeer dus. Het is een van de vormen van natuurlijke radioactiviteit. Zodra een organisme sterft, houdt uiteraard de uitwisseling van ^{14}C met

de omgeving op en resteert nog slechts het radioactieve verval. Dit gebeurt volgens de bekende exponentiële vervalswet (zie Afb. 1, de blauwe curve):

$$^{14}\text{A}(t) = ^{14}\text{A}(t=0) \exp(-\lambda t)$$

Hierin is $^{14}\text{A}(t)$ de ^{14}C activiteit als



funktie van de tijd t . De relatieve activiteit ^{14}a is gedefinieerd als de verhouding $^{14}\text{A}(t)/^{14}\text{A}(t=0)$, en neemt dus af in de tijd van 1, ofwel 100%, op $t=0$ tot 0 op tijdstip t ouder dan de meetgrens, welke 50.000 jaar bedraagt. De vervalconstante λ is gerelateerd aan de halveringstijd. De halveringstijd is de tijd waarin de radioactiviteit met de helft is afgenomen ($^{14}\text{a}=0,5$ of 50%).

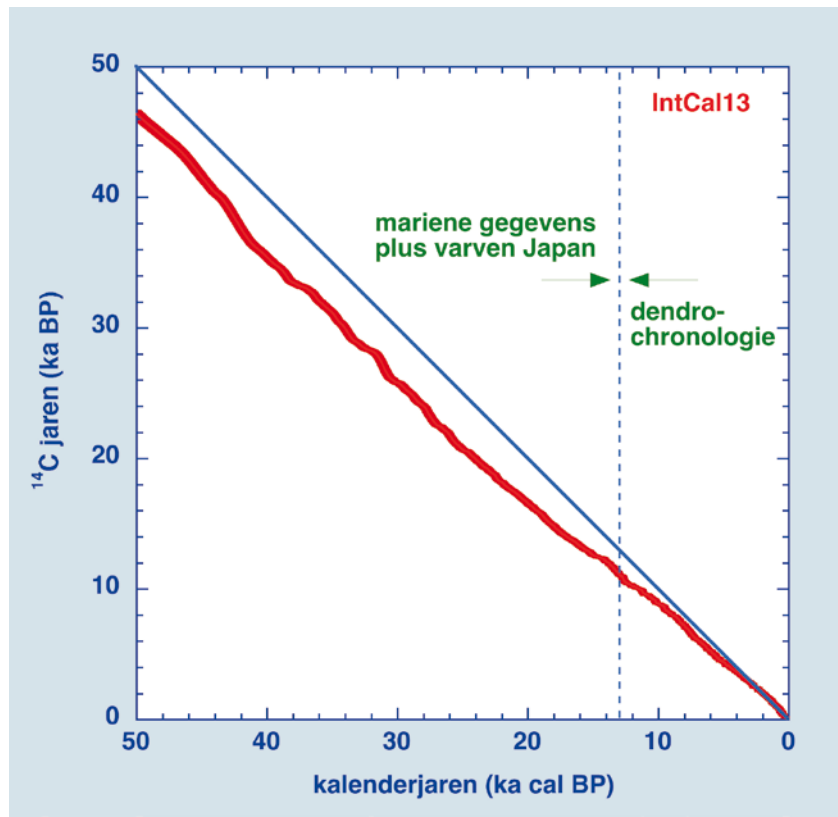
Hierdoor kan de ouderdom (in feite het tijdsverloop sinds de dood van het organisme) van een organisch (pre-historisch of aardwetenschappelijk) monster worden bepaald door het meten van het resterende ^{14}C gehalte in dat monster. In principe volgens de eenvoudige formule:

$$t = -8033 \ln(^{14}\text{a})$$

De ^{14}C conventie

Dateren via simpel radioactief verval is alleen mogelijk als de halveringstijd ($T_{1/2}$) en beginconcentratie van ^{14}C , $^{14}\text{a}(t=0)$, goed bekend zijn. Er is echter met beide een probleem. Zo is in de begintijd van de ^{14}C -methode (omstreeks 1950) voor $T_{1/2}$ de waarde 5568 gebruikt; de echte waarde bleek later 5730 ± 40 jaar te zijn. Verder is het ^{14}C -gehalte in de atmosfeer niet constant, maar varieert het met veranderingen in het magneetveld van de aarde en met de wisselende zonne-activiteit, welke de hoeveelheid kosmische straling en dus de ^{14}C -productie in de atmosfeer beïnvloeden. Het ^{14}C -gehalte in de atmosfeer is daarnaast ook afhankelijk van veranderingen in het CO_2 evenwicht tussen oceaan en atmosfeer.

Daarnaast is er het verschijnsel isotopen-fractionering: massa-afhankelijke effecten in fysische, chemische en biologische processen in zowel de natuur als in het laboratorium veranderen de concentratie van ^{14}C , en dus de 'ouderdom'. Dit is het eenvoudigst te illustreren voor de fotosynthese. Dit proces is massa-afhankelijk. Door de verschillende molecuulmassa's van de isotopen van CO_2 , bevatten planten minder ^{14}C na de assimilatie dan de atmosfeer waarin ze groeien en lijken daardoor dus ouder. Maar ze bevatten ook minder ^{13}C dan de atmosfeer. Aangezien het ^{13}C gehalte in de plant constant is (in tegenstelling tot ^{14}C , wat vervalt) weten we wat de isotopen-fractionering is door – naast het ^{14}C gehalte – ook het ^{13}C gehalte te meten in de plant.



AFBEELDING 2. | De ijkgrafiek IntCal13 voor ^{14}C geeft het verband weer tussen conventionele ^{14}C jaren (BP) en kalenderjaren (cal BP). De getallen zijn in eenheden van 1000 jaar (ka).

De oplossing voor al deze problemen is het definiëren van een eigen tijdschaal voor ^{14}C . Deze conventie houdt in:

- gebruik van de oorspronkelijke halveringstijd 5568 jaar;
- correctie voor fractionering tot een bepaalde standaardwaarde met behulp van het stabiele isotoop ^{13}C ;
- de ^{14}C radioactiviteit wordt gemeten relatief ten opzichte van een bepaalde standaard (oxaalzuur), welke 95% is van de natuurlijke waarde in 1950;
- de tijdseenheid voor ^{14}C ouderdommen is BP.

Deze definitie is weloverwogen gekozen. De oorspronkelijke halveringstijd is gehandhaafd zodat de eerste ^{14}C dateringen ook nu nog dezelfde betekenis hebben. De standaard is en blijft voor altijd gerelateerd aan 1950 omdat het gekozen materiaal (oxaalzuur) daarmee overeenkomt. Het verval na 1950 is niet relevant want dat treedt op voor zowel de standaard als voor het monster. Voor een meer technische verhandeling betreffende de ^{14}C conventie wordt naar de literatuur verwezen (Mook & van der Plicht, 1999).

De term BP is wat ongelukkig en verwarrend. In de geologie betekent dit 'Before Present', wat ook aanvankelijk (vóór het ontdekken van de complicaties) voor ^{14}C de betekenis was met 'Present' als 1950.

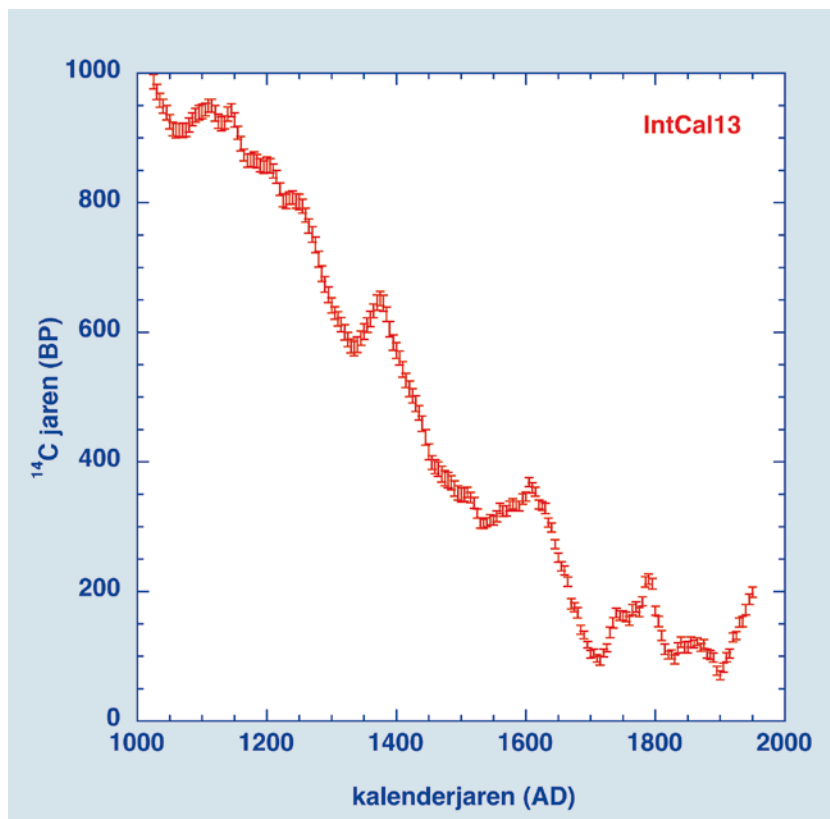
Maar we weten nu dat de ^{14}C klok, gedefinieerd volgens de conventie uit de pas loopt met de fysische klok (door de 'verkeerde' $T_{1/2}$), en bovendien zowel trager als sneller kan gaan lopen (door een variërend natuurlijk ^{14}C gehalte, dus $^{14}\text{a}(t=0)$ in de tijd).

Daardoor is een ^{14}C chronologie geen historische- (of kalender-) chronologie. Er is uiteraard wel een relatie tussen de ^{14}C tijdschaal en de historische tijdschaal. Deze relatie kan worden vastgesteld door ijking.

Het ijken van de ^{14}C tijdschaal

Het ijken van de ^{14}C tijdschaal is mogelijk als het verband bekend is tussen BP (de ^{14}C tijd) en de echte (kalender)tijd. Dit verband kan worden bepaald door





AFBEELDING 3. | Detail van de ijkgrafiek: het laatste millennium met 'wiggles'.

het dateren van monsters met zowel de ^{14}C methode als met een andere onafhankelijke, bij voorkeur 'absolute' methode. Een voor de hand liggende methode is dendro-chronologie; er zijn inmiddels vele duizenden ^{14}C dateringen aan jaarringen van bomen verricht. Deze op dendro-metingen gebaseerde ijkgegevens gaan momenteel ca. 14.000 jaar terug. Voor de jaren voorbij de dendro-kalender, is de ijkgrafiek in 2013 vastgesteld voor het gehele meetbereik van 50.000 jaar (Reimer *et al.*, 2013). Dit is met name gedaan met behulp van mariene monsters (koralen, gedateerd met zowel ^{14}C als U-isotopen) en met ^{14}C -dateerbare monsters uit gelaagd sediment (de zogenaamde varven) uit het Suigetsu meer in Japan.

De ijkgrafiek is weergegeven in Afbeelding 2. Deze grafiek is vastgesteld door de internationale ^{14}C gemeenschap en staat bekend als IntCal13. De grafiek geeft het grillige verband weer tussen de ^{14}C tijdschaal (BP, verticaal) en de historische absolute tijdschaal. Voor de laatste wordt de eenheid cal BP gebruikt, wat staat voor kalenderjaren ten opzichte van 1950: $\text{cal BP} = 1950 - \text{AD}$. Dit is de rechte lijn in Afbeelding 2, en komt overeen met een constant ^{14}C -gehalte in de tijd. De algemene trend van de ijkgrafiek (Afb. 2) kan worden verklaard met behulp van het aardmagnetisch veld. De veldsterkte neemt af terug in de tijd, waardoor een hogere flux kosmische straling door het aardmagneetveld wordt ingevangen zodat meer ^{14}C in de atmosfeer wordt geproduceerd. Hierdoor correspondeert bijvoorbeeld 10.000 ^{14}C jaren geleden (BP) met ruwweg 12.000 echte jaren geleden (cal BP) of wel ca. 10.000 v. Chr.

Daarnaast herkennen we, gesuperponeerd op de lange termijn trend, fluctuaties ('wiggles' genaamd) in het ^{14}C gehalte. Deze kunnen worden verklaard door fluctuaties in de activiteit van de zon.

De wiggles zijn in Afbeelding 2 nauwelijks te zien vanwege de schaal. Daarom is een gedetailleerd stukje ijkgrafiek (het laatste millennium) weergegeven in Afbeelding 3.

De definitie van BP (zoals de 'foute' halveringstijd) wordt met de ijking meer inzichtelijk: via de ijkgrafiek kan een ^{14}C ouderdom (in BP) altijd worden

omgezet in een historische ouderdom (in cal BP, $\text{AD} = \text{n. Chr. of v. Chr.}$). De ijkgrafiek verdisconteert de aanvankelijke complicaties van de ^{14}C dateringsmethode betreffende de waarde van de halveringstijd en het variërende ^{14}C gehalte in de atmosfeer.

De ijking kan gecompliceerd zijn door de wiggles. Een ^{14}C datering (in BP) kan resulteren in meerdere mogelijkheden op de kalenderas. Een datering van bijvoorbeeld 600 BP levert meerdere mogelijkheden op, zoals te zien is in Afbeelding 3. Als we ook de meetfouten meenemen, geeft de ijking een ingewikkelde waarschijnlijkheidsverdeling. Voor de berekening is speciaal ontwikkelde software beschikbaar. Afbeelding 4 laat het voorbeeld zien van de ijking van 600 ± 30 BP. Het resultaat in kalenderjaren is 1305-1360 en 1385-1400 n. Chr. Deze 'ranges' zijn aangegeven in Afbeelding 4 als zwarte lijnen. De meetfout van de datering is 30 (1-sigma), en de 2 'ranges' in kalenderjaren is ook het 1-sigma betrouwbaarheidsinterval. Behalve de meer eenvoudige uitkomst is ook de precisie verslechterd; het resultaat beslaat ongeveer de hele 14e eeuw.

De wiggles kunnen ten voordele gebruikt worden bij sequenties van dateringen. Deze staan in een volgorde, bijvoorbeeld bij een serie jaarringen van een boom of een stratigrafie. Statistische methoden (zogenaamde Bayesiaanse analyse, of wiggle-matching) kunnen op een sequentie worden toegepast, waardoor de precisie aanzienlijk kan worden verbeterd. Voor details wordt naar de specialistische literatuur verwezen, bijvoorbeeld Blaauw *et al.* (2007).

De ^{14}C dateringsmethode is toepasbaar voor organische materialen zoals hout, houtskool, zaden, pollen, veen, botten, schelpen, etc. De monsters moeten een chemische reiniging (de zogenaamde AAA behandeling, wat staat voor Zuur-Loog-Zuur) ondergaan, om verontreinigingen te verwijderen en de dateerbare fractie te isoleren. De ^{14}C concentratie wordt tegenwoordig gemeten met AMS (Accelerator Mass Spectrometry), een vorm van massa-spectrometrie met een deeltjesversneller. Daarvoor is slechts ongeveer 1 milligram koolstof (na voorbehandeling) nodig.



Ook hier wordt voor meer details naar de literatuur verwezen, bijvoorbeeld Bayliss *et al.* (2004).

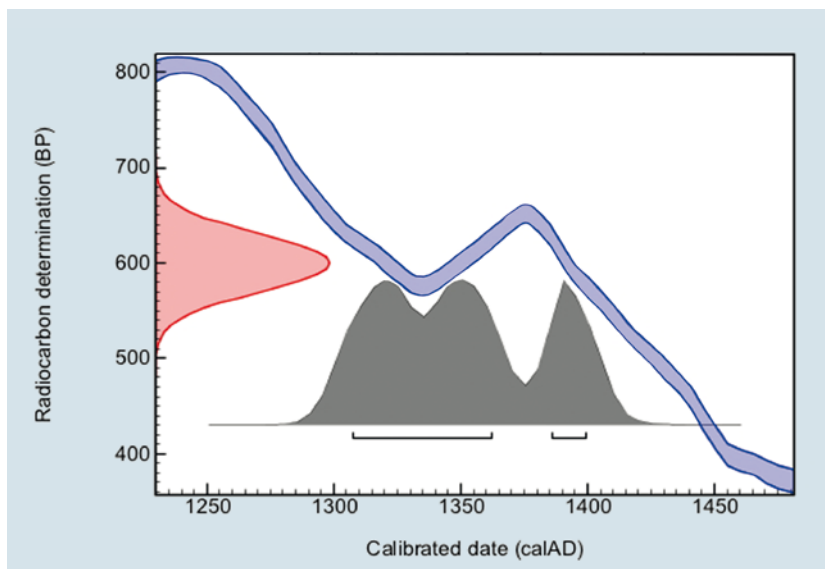
Reservoir-effecten

In terrestrische monsters is de oorspronkelijke ^{14}C activiteit over het algemeen relatief gemakkelijk vast te stellen omdat de organische verbinding een directe (fotosynthese) of bijna directe (de voedselketen) relatie heeft met atmosferische CO_2 . Hierin is het ^{14}C gehalte bekend, via de ijkgrafiek.

Dat is anders bij anorganische verbindingen zoals het koolzuursysteem opgelost in water en vormen van kalk. Er bestaat hierbij over het algemeen een gecompliceerde relatie met de atmosferische CO_2 .

Een belangrijk gevolg hiervan is dat er bijzondere effecten optreden voor ^{14}C voor monsters uit aquatische reservoirs. We maken hierbij onderscheid tussen mariene- en zoetwaterreservoirs.

In de oceaan is ^{14}C aanwezig in de vorm van opgeloste CO_2 . Er is een continue uitwisseling van CO_2 tussen oceaan en atmosfeer. Het $^{14}\text{CO}_2$ is onderdeel van de mondiale waterkringloop in de oceanen. Oud en diep oceaanoewater komt regelmatig uit de diepzee aan de oppervlakte 'opwelling' zodat de toplaag van de oceaan bestaat uit gemengd oud- en recent water. De toplaag van de zee bevat daardoor minder ^{14}C dan de atmosfeer; er is een 'offset'. Dit geldt ook voor de daarin levende marine organismen die daardoor ouder zijn (wat betreft ^{14}C) dan even oude atmosferische/terrestrische organismen. Deze schijnbare ouderdom wordt het reservoir-effect genoemd. Anders gezegd, ook hier begint de ^{14}C klok af te lopen na de dood van een organisme; maar vergeleken met terrestrische organismen begint de klok op een lager niveau. Dit is in Afbeelding 1 weergegeven in rood. Het verschil tussen de terrestrische en marine startwaarde van de ^{14}C klok is 5% in ^{14}a , wat in tijd overeenkomt met 400 jaar. Mariene schelpen met een ^{14}C ouderdom gerapporteerd in BP, zijn dus 400 jaar te oud; pas na aftrek van 400 jaar kan de schelp worden gecalibreerd naar kalenderjaren met behulp van de ijkgrafiek (Afb. 2). Ook niet-marine organismen kunnen dit reservoir-effect vertonen als het dieet uit veel



AFBEELDING 4. | De ijkking van de ^{14}C datering 600 ± 30 BP levert twee mogelijkheden op: 1305-1360 en 1385-1400 n. Chr.

vis bestaat; ijsberen en zeehonden dateren ook 400 jaar te oud. Ook prehistorisch menselijk botmateriaal kan te oud dateren, zodat men in de archeologie ook wel spreekt van het 'vis-effect' (zie Lanting & van der Plicht, 1995/1996).

In zoetwater treedt ook een reservoir-effect op door 'oud $^{14}\text{CO}_2$ ', opgelost in het water. Het betreft hier een ander mechanisme, namelijk opgeloste kalk uit geologische afzettingen. Voor de Rijn is de 'offset' 15%, overeenkomend met 1300 jaar. De startwaarde voor de ^{14}C klok na de dood van een organisme afkomstig uit dit reservoir is dus 85%; dit is aangegeven in groen in Afbeelding 1. Anders dan in het mariene geval, waar doorgaans 400 jaar kan worden genomen voor de grootte van het reservoir-effect, zijn er in het geval van zoetwater grote variaties, afhankelijk van de geochemische omstandigheden. Op voorhand is de grootte van het reservoir-effect onbekend.

Nog complexer in dit opzicht zijn estuaria, deze bevatten een mengsel van marien en rivier water. Het reservoir-effect is hier dus afkomstig van twee bijdragen.

Voor de Nederlandse situatie is dit alles van groot belang. Dateringen zijn vaak gebaseerd op schelpen. Voor absolute dateringen moet het reservoir-effect worden afgetrokken van de datering in BP, voordat er kan worden geijkt. De grote vraag is altijd: waar komt de koolstof (^{14}C) in de schelp vandaan, wat is de startwaarde van de ^{14}C klok?

Het blijkt dat de stabiele isotopen van de kalk van de schelp, ^{13}C en ^{18}O , kunnen worden gebruikt als 'tracer' voor de onderliggende geochemische processen (zie o.a. Mook, 2006). Isotopen waarden zijn representatief voor de herkomst van de schelp. En de stabiele isotopen ^{13}C en ^{18}O veranderen niet in de tijd, anders dan ^{14}C .

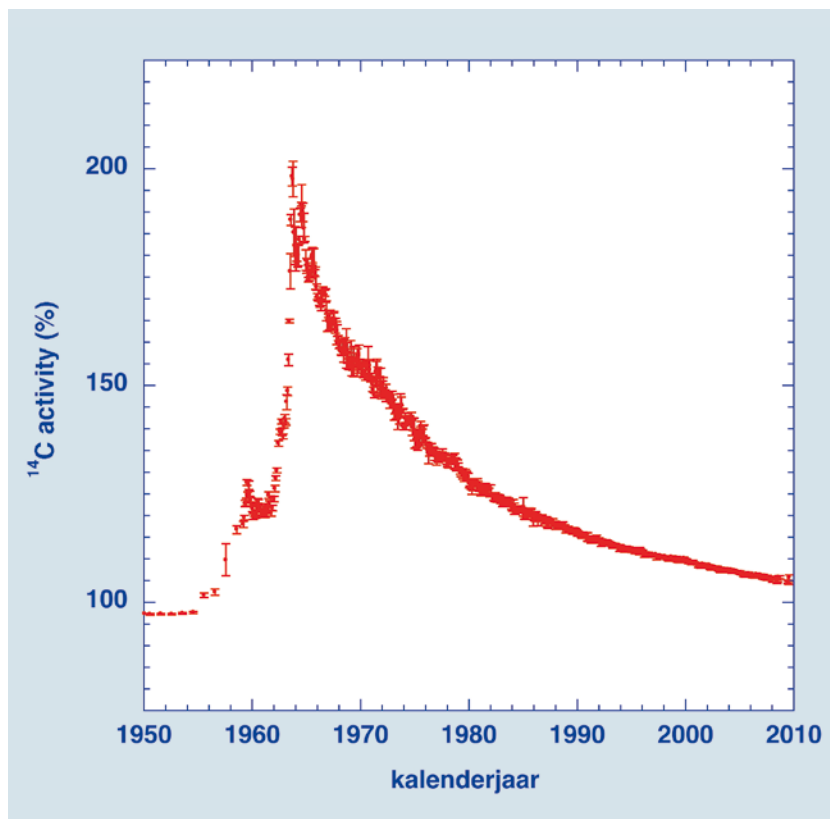
Het gaat te ver hier de betreffende correctiemodellen te bespreken. Een artikel hierover is in voorbereiding, en een voorbeeld van de interpretatie van schelpdateringen is besproken in een recente publicatie (Essink *et al.*, 2016).

De moderne tijd

Voor de moderne tijd (sinds ca. 1950) wordt ^{14}C rechtstreeks gemeten in de atmosfeer. Deze getallen worden als ^{14}a gerapporteerd; de eenheid BP is betekenisloos hier. Voor het Noordelijk Halfrond zijn de gegevens weergegeven in Afbeelding 5.

De figuur laat duidelijk de zogenaamde 'bompeik' zien, met een maximum van ongeveer 200% in 1963. Deze piek is veroorzaakt door testexplosies van kernbommen in de atmosfeer. Dit bracht extra ^{14}C in de atmosfeer, een verdubbeling dus in 1963. Dit is na 1963 per verdrag verboden; na die tijd zijn er alleen ondergrondse kernproeven uitgevoerd. Hierna neemt het relatieve ^{14}C





AFBEELDING 5. | ^{14}C activiteit in de atmosfeer voor de moderne tijd (1950-2010).

gehalte in de atmosfeer weer af, door uitwisseling van $^{14}\text{CO}_2$ tussen atmosfeer en oceaan, en door het gebruik van (^{14}C -vrije) fossiele brandstoffen. Het ^{14}C niveau in de atmosfeer is daardoor weer bijna terug op de natuurlijke waarde. Afbeelding 5 fungeert als ijkgrafiek voor monsters uit de tijd na 1950.

Andere dateringsmethoden

a) ^{210}Pb

^{210}Pb datering kan worden gebruikt voor recente sedimenten (jonger dan ongeveer 150 jaar). Dit isotoop, een product van de Uranium vervalreeks, heeft een halveringstijd van 22,3 jaar.

Het meest voorkomende Uranium isotoop in de bodem, ^{238}U , vervalt o.a. naar het gas ^{222}Rn ; dit komt in de atmosfeer terecht. Dit ^{222}Rn vervalt (via een reeks isotopen) naar ^{210}Pb , wat vervolgens via de neerslag in het oppervlaktewater terecht komt. Daar adsorbeert ^{210}Pb aan gesuspendeerd materiaal, waarna het in het sediment terecht komt en in de tijd vervalt.

Door de concentratie ^{210}Pb in de sediment sequentie te meten kan het dus worden gedateerd.

Voor dateren van sediment is de methode een welkome aanvulling voor ^{14}C wat betreft de tijd vóór de bompiek. De ijkgrafiek laat nauwkeurige dateringen met ^{14}C niet toe voor de tijd vanaf het jaar 1700 (zie Afb. 3).

Een complicatie van de ^{210}Pb methode is *in situ* productie in het sediment zelf, via verval van ^{226}Ra (de zogenaamde 'supported fraction').

Voor meer details wordt naar de literatuur verwezen, bijvoorbeeld Walker (2005).

b) OSL

Een betrekkelijk recent ontwikkelde dateringsmethode is OSL (Optically Stimulated Luminescence). De methode is gebaseerd op stralingsschade: natuurlijke radioactiviteit in de bodem (radioactieve isotopen van U, Th en K) veroorzaakt ionisatie van moleculen, waarbij vrije elektronen ontstaan. Deze kunnen worden ingevangen in kristaldefecten, zogenaamde 'traps' in bepaalde materialen (in dit verband kwarts en veldspaat).

De elektronen worden uit de traps bevrijd door bestraling met kunstlicht.

Daarbij zenden ze zelf een lichtsignaal uit (luminescentie) wat vervolgens wordt gedetecteerd. Hoe intenser dit signaal, des te meer elektronen zaten in de trap, des te langer was de bestralingstijd in de natuur, dus: des te ouder is het monster.

Men meet dus in feite de tijdsduur tot het laatste moment van blootstelling aan licht. De methode is analoog aan de oudere TL (Thermo-luminescentie) methode; hiermee meet men de tijd tot de laatste blootstelling aan warmte.

De ouderdom wordt berekend met de formule;

$$\text{ouderdom } t \text{ (jaar)} = \frac{\text{equivalente dosis (Gray)}}{\text{dosistempo (Gray per jaar)}}$$

waarbij de equivalente dosis de hoeveel straling is die het monster heeft opgelopen (de helderheid van het luminescentie signaal), en het dosistempo is de jaarlijkse dosis ten gevolge van natuurlijke radioactiviteit.

De dateerbare materialen voor OSL zijn anorganisch: mineralen zoals aeolische, fluviale en colluviale afzettingen, maar ook steen en keramiek.

Dus, in vergelijking met ^{14}C , is OSL complementair: wat met OSL kan worden gedateerd kan niet met ^{14}C , en vice versa. Daarbij is het ouderdomsbereik 150.000 jaar (soms meer), en de meetfout minstens 5% van de ouderdom.

Voor meer informatie betreffende de OSL methode, zie Wallinga *et al.* (2007), en ook Walker (2005).

De Marker Wadden

Wat kunnen de hier besproken dateringstechnieken betekenen voor de Marker Wadden?

Welke methode het meest geschikt is hangt af van het soort materiaal en de ouderdom. De ^{14}C methode zal het meest voor de hand liggen. Het meest ideaal hiervoor zijn terrestrische monsters: takjes, hout of andere botanische resten. Schelpen kunnen uitstekend gedateerd worden in technische zin (ze leveren een BP getal op), maar dan volgt een interpretatie die moeizaam kan zijn: zijn ze marien, fluviaal, afkomstig uit stilstaand water, of een mengsel (estuarium)? Een uitgebreide studie van de stabiele isotopen van de schelp en de bijbehorende



kalkhuishouding kan nodig zijn. Dit alles om een schatting van het reservoir-effect te maken, de 'schijnbare ouderdom' van de schelp zonder welke we de datering in BP niet kunnen ijken naar kalenderjaren. Organisch sediment behoort eveneens tot de dateerbare materialen. Maar ook hier kunnen complicaties optreden bij de interpretatie. Wat is de samenstelling, zijn er resten van waterplanten aanwezig? In dat geval hebben we ook te maken met reservoir-effecten van onbekende grootte. Er is maar één goede manier om dit te achterhalen: een zogenaamde 'paired dating', van eenzelfde diepte/stratum waar dit voor kan zowel sediment als een terrestrisch monster (takje, zaadje bijvoorbeeld) te dateren. Dan hebben we een maat voor het reservoir-effect, het verschil tussen terrestrisch/niet-terrestrisch voor ^{14}C getallen. In combinatie met een sequentieanalyse (een serie ^{14}C dateringen als functie van de diepte in de boorkern) kan dit een betrouwbare ouderdomsbepaling opleveren.

De bovenste gedeelten van het sediment is uiteraard het meest recent. Dan is ^{14}C toepasbaar voor organisch sediment met name voor de periode met de bompiek, na 1950 dus. Voor de periode vlak daarvoor is organisch materiaal goed dateerbaar, maar het grillige verloop van de ijkgrafiek maakt goede precisie terug tot aan ongeveer 1750 n. Chr. onmogelijk -

tenzij er ook hier een sequentie analyse kan worden gedaan ('wiggle matching'). Anorganisch materiaal is het meest geschikt voor de ^{210}Pb methode, bruikbaar voor de laatste 150 jaar.

OSL is de aangewezen methode voor mineralen in sediment. Deze zijn niet dateerbaar met ^{14}C . De OSL precisie is minder dan die van ^{14}C . Als de ouderdom ouder dan 50.000 jaar is, is OSL de enige methode waarmee dateringen kunnen worden verricht.

LITERATUUR

- Bayliss, A., G. McCormac & J. van der Plicht, 2004. *An illustrated guide to measuring radiocarbon from archaeological samples. Physics Education* 39, 1-8.
- Blaauw, M., R. Bakker, J.A. Christen, V.A. Hall & J. van der Plicht, 2007. *A Bayesian framework for age modeling of Radiocarbon-dated peat deposits: case studies from the Netherlands. Radiocarbon* 49, 357-367.
- Essink, K., A.P. Oost, H.J. Streurman & J. van der Plicht, 2016. *Are Medieval Mya arenaria (Mollusca; Bivalvia) in The Netherlands also clams before Columbus? Netherlands Journal of Geosciences*, in druk.
- Lanting, J.N. & J. van der Plicht, 1995/1996. *Wat hebben Floris V, skelet Swifterbant en visotters gemeen? Palaeohistoria* 37/38, 491-519.
- Mook, W.G. & J. van der Plicht, 1999. *Reporting ^{14}C activities and concentrations. Radiocarbon* 41, 227-239.
- Mook, W.G., 2006. *Isotope Hydrology. Taylor & Francis. ISBN 0-415-38197-5.*
- Reimer, P.J. et al., 2013. *IntCal13 and Marine13 Radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. Radiocarbon* 55, 1869-1887.
- Walker, M., 2005. *Quaternary Dating Methods. Wiley, ISBN 0-470-86927-5.*
- Wallinga, J., F. Davids & J.W.A. Dijkmans, 2007. *Luminescence dating of Netherlands' sediments. Netherlands Journal of Geosciences* 86, 179-196.

Internet www.radiocarbon.org

(advertentie)

HENSKENS FOSSILS®

DIGGING - PREPARATIONS - WHOLESALE - EXHIBITIONS



International Dinosaur Digging Team®

Eikenboomgaard 11-13, 5341 CT, Oss (The Netherlands)
 PH: +31 (0) 412 63 46 69
 E-mail: theo@henskensfossils.nl

Open: Monday - Friday 8:00 am - 5:00 pm (CET)
 Opening hours showroom: Saturday 10:00 am - 3:00 pm (CET)

WWW.HENSKENSFOSSILS.NL

