

J.N. LANTING

Vakgroep Archeologie, Groningen, Netherlands

J. VAN DER PLICHT

Centrum voor Isotopen Onderzoek, Groningen, Netherlands

ABSTRACT: This paper deals with the reliability of human bone as material for radiocarbon dating, and the connection with the types of food eaten by the people in question. Non-terrestrial food, such as fish and shellfish, causes radiocarbon ages of human bone collagen to be too old, because of the so-called reservoir effects in water. In particular, these reservoir effects can be large in rivers. By measuring $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in bone collagen, the consumption of non-terrestrial food can be traced (paleo-diet studies).

Examples of reservoir effect are shown in historically dated persons, and in some prehistoric populations. In particular, medieval human bone should be considered an unreliable material for radiocarbon dating.

KEYWORDS: Radiocarbon dating, bone, collagen, reservoir effects, paleo-diet, carbon isotopes, nitrogen isotopes.

1. INLEIDING

Menselijk en dierlijk bot mag zich verheugen in een stijgende populariteit als materiaal voor ^{14}C -datering. Daarbij spelen de geringe eigen leeftijd van bot (zelfs bij volwassen mensen is de eigen leeftijd van botcollageen hooguit 20 jaren), de zekerheid van associatie (vooral als het om menselijk skeletmateriaal gaat), maar daarnaast ook de beschikbaarheid een grote rol. Tot halverwege de jaren '60 werd bot echter als een minder bruikbaar materiaal voor ^{14}C -datering gezien. Terugblikkend zijn daar ook wel redenen voor aan te wijzen. Zo bestond er aanvankelijk geen standaardvoorbereiding voor het isoleren en zuiveren van botcollageen, en werd soms de carbonaatfractie van de minerale component van het bot gedateerd in plaats van de organische component. Dat waren echter niet de enige redenen. Voor Nederlandse archeologen zal ook een rol hebben gespeeld dat de ^{14}C -dateringen aan menselijk skeletmateriaal met historisch bekende ouderdom veel ouder waren dan die historische dateringen. Het ging daarbij om de skeletten van de grafelijke familie van het Hollandse Huis, opgegraven in Rijnsburg. Zelfs destijds, toen ^{14}C -dateringen nog omgerekend werden in dateringen in kalenderjaren door de ^{14}C -ouderdom van 1950 AD af te trekken, bedroegen de verschillen al 200 jaren of meer. Momenteel, met de destijds niet uitgevoerde correctie voor isotopenfractionering, en de omrekening van ^{14}C -dateringen in dateringen in kalenderjaren met behulp van jaarringjikkurves, zijn de verschillen nog groter.

Toen later bleek dat menselijk en dierlijk been uit prehistorische context wel redelijke dateringen opleverde – vergelijkbaar met dateringen aan houtskool, hout en zaden – werden de Rijnsburg-dateringen 'ver-

klaard' door aan te nemen dat de archeologen in feite een Karolingisch grafveldje hadden opgegraven. Deze kritiek verscheen echter niet in druk; Mook (1977: p. 11) was de eerste die voorzichtig twijfelde aan de identificatie van de skeletten. De verklaring heeft echter een taai leven. Onlangs hebben we nog in de 'Wetenschap & Onderwijs'-bijlage van *NRC-Handelsblad* kunnen lezen, dat de fysisch-anthropoloog Maat (artikel 28 maart 1996) en de fysicus De Waard (ingezonden brief 18 april 1996) de ^{14}C -getallen gebruiken om de skeletten in de vroege middeleeuwen te plaatsen. Op grond van de stratigrafie van het abdijterrein (forse ophogingslaag tussen Karolingisch woonniveau en vloerniveau van de abdij), en van de ligging van de skeletten voor het altaar is echter uit te sluiten, dat het niet om de 12e-13e-eeuwse grafelijke familie zou gaan. De verklaring voor de afwijkende dateringen moet dus bij de ^{14}C -methode worden gezocht, niet bij de archeologie. Alleen de antropoloog Dijkstra, die de skeletten destijds identificeerde, en Vogel hebben echter serieuze pogingen gedaan om de verschillen tussen verwachte en gemeten ^{14}C -ouderdommen te verklaren (Dijkstra, 1979; 1991; Vogel, 1991). Zij wezen op het aandeel mariene vis dat het voedsel van de grafelijke familie moet hebben omvat, en op de veroudering ten gevolge van het mariene reservoir effect die daarvan het resultaat moet zijn geweest. Vogel wees zelfs al op de effecten die de consumptie van zoetwatervis kon hebben, zonder overigens getallen te noemen. Dit deel van het werk van Dijkstra en Vogel heeft echter weinig aandacht gekregen, waarschijnlijk omdat de verschillen maar ten dele verklaard konden worden en omdat Dijkstra nogal voorbarig een veroudering van gemiddeld 240 jaren voor alle middeleeuwse menselijke skeletresten in Nederland postuleerde (Dijkstra, 1993).

Maar dat betekent niet dat Dijkstra en Vogel ongelijk hadden. Met reservoir effecten moet wel degelijk rekening worden gehouden bij de datering van menselijk botmateriaal.

In dit artikel zal aandacht worden besteed aan botdateringen in het algemeen en aan die van menselijk bot uit Nederland en Ierland in het bijzonder, en aan de aanwijzingen die uit onderzoek aan de stabiele isotopen ^{13}C en ^{15}N kunnen worden verkregen over de samenstelling van het genuttigde voedsel en daaruit resulterende verouderingen, als gevolg van reservoir effecten. *Paleo-diet studies* zijn een relatief nieuwe ontwikkeling binnen de archeometrie. De eerste publikatie op dit gebied verscheen van de hand van Vogel & Van der Merwe (1977), die met behulp van $\delta^{13}\text{C}$ in menselijk botcollageen de verspreiding van maïsverbouw in Noord-Amerika konden aantonen. Sindsdien heeft deze nieuwe tak van wetenschap zich snel ontwikkeld, zoals blijkt uit recente overzichtsartikelen als die van Schwarcz (1991) en Schoeninger & Moore (1992). In Nederland zijn *paleo-diet studies* verricht door Runia (1987) en Van Klinken (1991). Runia bestudeerde Nederlands materiaal, voornamelijk uit West-Friesland, en betrof naast $\delta^{13}\text{C}$ ook sporenelementen als strontium, zink, barium, lood, arsenicum en koper in zijn onderzoek. Helaas was hij om technische redenen niet in staat $\delta^{15}\text{N}$ te meten. Van zijn werk is in dit artikel dankbaar gebruik gemaakt, met name van zijn bepalingen van $\delta^{13}\text{C}$ in prehistorisch menselijk bot. Van Klinken bestudeerde prehistorische populaties in het Caraïbisch gebied, maar maakte alleen gebruik van $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ en van mariene reservoir effecten. Hoewel het onderzoek in beide gevallen financieel werd mogelijk gemaakt door NWO/Archon, betrof het in feite twee geïsoleerde projecten, die niet hebben geleid tot faciliteiten voor *paleo-diet studies* ten behoeve van de Nederlandse archeologie.

2. ^{14}C -OUDERDOMSBEPALING EN RESERVOIREFFECTEN

2.1. De dateringsmethode en de conventies

Van het element koolstof komen in de natuur drie isotopen voor: ^{12}C , ^{13}C en ^{14}C , in de verhouding 98,9, 1,1 en $10^{-10}\%$. De isotopen ^{12}C en ^{13}C zijn stabiel; ^{14}C is instabiel of radioactief. Dit isotoop heeft een halveringstijd van 5730 ± 40 jaren, en wordt hoog in de atmosfeer gevormd onder invloed van kosmische straling. ^{14}C bindt zich met zuurstof tot $^{14}\text{CO}_2$, dat zich mengt met de overige kooldioxide in de atmosfeer. Via koolzuurassimilatie wordt ^{14}C opgenomen door planten en via de voedselketen door dieren, behorend tot de terrestrische biosfeer. De weefsels waarin deze ^{14}C wordt geïncorporeerd worden voortdurend vernieuwd tijdens het leven, waardoor het ^{14}C -gehalte in evenwicht blijft met dat van de atmosfeer. Na het afsterven stopt deze uitwisseling en vermindert het ^{14}C -gehalte door

radioactief verval. Op dit laatste is de ^{14}C -dateringsmethode gebaseerd. Door de nog aanwezige hoeveelheid ^{14}C te meten kan in principe de ouderdom van de afgestorven weefsels worden bepaald.

Om onderling vergelijkbare ouderdomsbepalingen te kunnen verrichten, hebben ^{14}C -laboratoria afspraken gemaakt over de wijze waarop die ouderdommen berekend en gepresenteerd moeten worden. Deze afspraken (conventies) zijn:

- In de afgelopen tienduizenden jaren is de ^{14}C -activiteit van koolstofhoudende materialen bij hun vorming altijd dezelfde geweest;

- Deze ^{14}C -activiteit op het moment van vorming ('recente activiteit') is gedefinieerd als 0,95 maal de specifieke activiteit van oxaalzuur, dat door het National Bureau of Standards in de Verenigde Staten werd gedistribueerd;

- De ^{14}C -activiteiten van de koolstof fracties van gedateerde monsters moeten gecorrigeerd worden voor isotopenfractionering tot $\delta^{13}\text{C} = -25\%$, op basis van gemeten $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ verhoudingen;

- Als halveringstijd van ^{14}C wordt het door Libby bepaalde getal van 5568 jaren gebruikt;

- ^{14}C -ouderdommen worden genoteerd in jaren BP (= Before Present), waarbij 'Present' het jaar 1950 AD is.

De op basis van deze afspraken berekende leeftijden worden *conventionele* ^{14}C -ouderdommen genoemd. Het is echter bekend dat twee van de aannames onjuist zijn. De halveringstijd van ^{14}C bedraagt niet 5568, maar 5730 ± 40 jaren. Aangezien al een groot aantal dateringen was verricht op het moment dat de correcte halveringstijd bekend werd, is besloten Libby's getal te blijven gebruiken, om verwarring te voorkomen. Ook met deze juiste halveringstijd levert de ^{14}C -methode namelijk geen absolute ouderdommen, dat wil zeggen getallen uitgedrukt in kalenderjaren, op omdat de 'recente activiteit' in de afgelopen tienduizenden jaren niet constant blijkt te zijn geweest. ^{14}C -ouderdommen kunnen echter omgerekend worden in leeftijden in kalenderjaren met behulp van zogenaamde jaarringjcurves gebaseerd op ^{14}C -dateringen van jaarringen in hout, waarvan de ouderdom in kalenderjaren bekend is.

Natuurlijke variaties in de verhoudingen van isotopen worden veroorzaakt door fysische, chemische of biologische processen. Verschillen in massa resulteren in verschillen in fysische of chemische eigenschappen, die op hun beurt weer resulteren in verschuivingen in de verhoudingen van de isotopen. Tijdens de verschillende stadia van de biologische voedselketen tonen planten en dieren verhoudingen van $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, en $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ die verschillen van die in atmosferische CO_2 , of in bicarbonaat in water. Bij het bepalen van ouderdommen met behulp van de ^{14}C -methode dient men derhalve voor dit effect te corrigeren. In zeer goede benadering geldt dat de isotopenfractionering voor ^{14}C tweemaal zo groot is als voor ^{13}C : $\delta^{14}\text{C} = 2\delta^{13}\text{C}$. Via het stabiele

isotoop ^{13}C kunnen we dus de fractioneringscorrectie voor ^{14}C bepalen, ook in archeologische monsters. De correctie bedraagt 16 ^{14}C -jaren per promille verschil in $\delta^{13}\text{C}$. Om redenen van vergelijkbaarheid wordt een internationaal geaccepteerd referentiemateriaal gebruikt, waarmee de monsters worden vergeleken. De mate van fractionering wordt uitgedrukt als de deviatie in per mil van de isotopenverhouding in monster, respectievelijk standaard:

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C}) \text{ monster}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C}) \text{ standaard}} \right] - 1 \times 1000\text{‰}$$

De standaard voor $\delta^{13}\text{C}$ is het zogenaamde PDB, carbonaat van een Belemniet uit de Pee Dee formatie (Verenigde Staten). De ^{14}C -dateringen worden per conventie naar $\delta^{13}\text{C} = -25\text{‰}$ gecorrigeerd; dit is ruwweg de waarde voor hout. De verarming of verrijking van het ^{14}C - (en ook ^{13}C -)gehalte in terrestrisch materiaal ten opzichte van dat in de atmosfeer komt tot stand door fraktionering: fysische/chemische processen (zoals bijvoorbeeld fotosynthese) zijn massaafhankelijk.

Voor niet-terrestrisch materiaal treedt een extra complicatie op, omdat er geen direct evenwicht is met atmosferische $^{14}\text{CO}_2$. De niet-organische koolstofkringloop is schematisch weergegeven in figuur 1. In de figuur staat telkens linksonder de $\delta^{13}\text{C}$ -waarde in ‰ aangegeven, en rechtsonder de ^{14}C -activiteit in % (procent modern). Hierbij komt 100% overeen met het 'standaardjaar' 1950 AD; 50% met één halveringstijd (ouderdom 5568 jaar), 25% met 2 halveringstijden, enzovoort.

In de anorganische koolstofkringloop treden zogenaamde reservoir effecten op: schijnbare ouderdommen van dateerbare materialen. Aan de hand van figuur 1 wordt hierop nader ingegaan voor de twee belangrijkste reservoirs: zeewater en zoetwater.

2.2. Het mariene reservoir effect

We stellen voor het gemak (fig. 1) dat de biosfeer

(landplanten) een $\delta^{13}\text{C}$ -waarde heeft van -25‰ , en een ^{14}C -activiteit van 100% (recent). De $\delta^{13}\text{C}$ -waarde voor atmosferische CO_2 is ongeveer -7‰ . Terugrekenend met behulp van de fractioneringscorrectie ($\delta^{14}\text{C} = 2 \times \delta^{13}\text{C}$) komt dit overeen met een atmosferische ^{14}C -activiteit van 103,6% (18‰ verschil in ^{13}C correspondeert met $36\text{‰} = 3,6\%$ in ^{14}C). Atmosferische CO_2 wisselt uit met de oceanen. Zeewater (DIC, Dissolved Inorganic Carbon) heeft een $\delta^{13}\text{C}$ -waarde van $+1\text{‰}$. In evenwicht met de atmosfeer zou dit overeen moeten komen met een ^{14}C -activiteit van 105,2% (= $103,6 + 2 \times 0,8$).

Er moet echter onderscheid gemaakt worden tussen de laag oppervlaktewater (enkele honderden meters dik) en diepzeewater. Tussen atmosfeer en oppervlaktewater vindt een snelle uitwisseling van CO_2 , en dus ook van $^{14}\text{CO}_2$, plaats. De uitwisseling tussen oppervlaktewater en diepzeewater is daarentegen langzaam. Bovendien is de hoeveelheid diepzeewater aanzienlijk groter dan de hoeveelheid oppervlaktewater. Het diepzeewater heeft hierdoor een veel lagere ^{14}C -activiteit dan het oppervlaktewater.

Door opwelling van diepzeewater bevat ook het oppervlaktewater minder ^{14}C dan de genoemde 105%. In de Noordelijke Atlantische Oceaan, en ook in de Noordzee, is de ^{14}C -activiteit 100%, toevallig gelijk aan die van de landplanten! Deze afwijking van ca. 5% komt overeen met ongeveer 400 ^{14}C -jaren. Deze schijnbare ouderdom wordt het mariene reservoir effect genoemd. Voor het dateren van mariene monsters betekent dit in de praktijk, dat bij berekening van ^{14}C -ouderdommen volgens de conventie men voor het reservoir effect dient te corrigeren door 400 jaar van de uitkomst in BP af te trekken. Waar door opwelling van grotere hoeveelheden diepzeewater de verarming meer dan 5% bedraagt, zijn de reservoir effecten overeenkomstig groter.

Die schijnbare ouderdom is ook terug te vinden in alle levende wezens in zeeën en oceanen, is aantoonbaar in de weefsels van mariene dieren en in mariene schelpen, maar vervolgens ook in de weefsels van

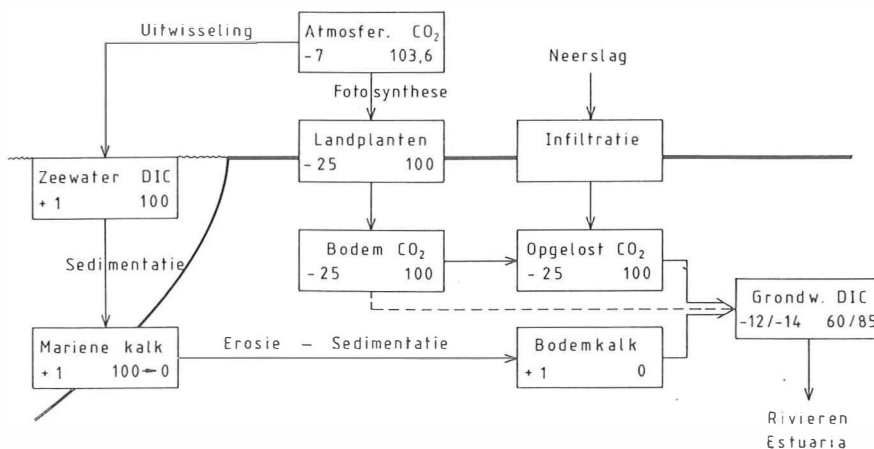


Fig. 1. De anorganische koolstofkringloop. Links staat telkens $\delta^{13}\text{C}$ in ‰ vermeld, rechts de ^{14}C -activiteit in % (procent modern). DIC = Opgeloste Anorganische Koolstof.

terrestrische dieren en mensen, die van marien voedsel afhankelijk zijn (zie bijvoorbeeld Tauber, 1979).

2.3. Reservoireffecten in zoet water

In zoet water is de zaak veel gecompliceerder. Belangrijke factoren zijn het aandeel grondwater, de doorstromingsnelheid en de mogelijkheid tot uitwisseling met atmosferische CO₂. Bij rivierwater moet onderscheid worden gemaakt tussen regen- en smeltwaterrivieren, maar in Nederland bestaat het water van Rijn, Waal en IJssel ook grotendeels uit grondwater, al is in de seizoensfluctuaties van δ¹³C de smeltwatercomponent nog wel herkenbaar (Mook, 1968: ch. 4).

De verarming aan ¹⁴C in grondwater komt als volgt tot stand. Het plantendek bevat koolstof die direct is afgeleid van atmosferische CO₂. Door wortelademhaling en ontleding wordt hieruit in de bodem CO₂ gevormd, die oplost in infiltrerend regenwater. Deze CO₂ heeft een waarde van δ¹³C van -25‰. In de diepere ondergrond vindt uitwisseling plaats tussen deze opge-

loste CO₂ en in de bodem aanwezige fossiele mariene kalk die geen ¹⁴C bevat en een δ¹³C van ca. +1‰ heeft. Bij het oplossen van bodemkalk door CO₂ ontstaat in eerste instantie bicarbonaat met δ¹³C = -12‰ en ¹⁴C-activiteit = 50%. Extra oplossen van CO₂ en uitwisselingsprocessen zorgen er voor dat bij de opgeloste anorganische koolstof in grondwater δ¹³C- en ¹⁴C-waarden worden waargenomen als aangegeven in figuur 1 (-12/-14‰, 60/85%). De schijnbare ouderdom (reservoireffect) kan in dit geval dus enkele duizenden jaren bedragen. Deze vermindering van de ¹⁴C-activiteit door het oplossen van fossiele kalk staat te boek als het hardwatereffect, maar deze term kan beter vermeden worden (zie o.a. Zagwijn, 1983: p. 82). Er kan beter worden gesproken over rivier- of meereffect. Ondiep stilstaand water zou in evenwicht moeten zijn met de atmosfeer, met δ¹³C in de buurt van +1‰, en een ¹⁴C-activiteit van ca. 105%. In de praktijk blijkt echter dat in veel meren en plassen, ook ondiepe, wel degelijk meereffecten aanwezig zijn. Olsson (1983) geeft voorbeelden van dergelijke meereffecten in ondiepe Zweed-

Tabel 1. Reservoir-effecten in zoetwatervis en -mosselen.

		¹⁴ C-act. in hout in %	Gemeten ¹⁴ C-act. in %	Ratio	Schijnbare ouderdom in jaren
<i>Zoetwatermosselen/vlees</i>					
Loenense Plas	1956	95	88.1	0.927	610
Eelderdiep/Schelfhorst	1990	115	88.2	0.767	2130
Drentse A/Glimmen	1994	112	82.1	0.733	2495
Oude Hunze/Winsum	1994	111	101.7	0.916	705
Plöner See	1969	154.7	118.8	0.768	2100
<i>Zoetwatermosselen/schelp</i>					
Eelderdiep/Schelfhorst	1990	115	87.3	0.759	2215
Warffumerdiep/Bieuwketil	1990	115	109.0	0.948	410
Leemenster Maar/Arwerd	1991	115	101.4	0.882	1010
Loenense Plas	1956	95	89.3	0.940	500
Bergsche Maas	1976	134	101.7	0.759	2215
Waal/Doomenburg	1976	134	105.2	0.785	1945
Waal/Ochten	1976	134	105.2	0.785	1945
Ven bij Nietap	1992	115	115.9	1.008	'recent'
Oude Hunze/Winsum	1994	111	106.8	0.962	310
<i>Zoetwatervis/vlees</i>					
Boterdiep/Ellerhuizen	1989	116	102.3	0.882	1010
NO-Polder/Zwolve Vaart	1989	116	74.0	0.638	3610
NO-Polder/Zwolve Vaart	1989	116	66.8	0.576	4430
Drentse A/Zeege	1989	118	88.4	0.749	2320
Voorste Diep/Borger	1991	115	80.1	0.697	2900
Reitdiep/Elektra	1994	111	91.2	0.822	1580
Reitdiep/Zoutkamp	1994	111	94.8	0.854	1270
IJsselmeer A	1995	111	91.9	0.828	1520
IJsselmeer B	1995	111	79.6	0.717	2670
Heegermeer	1995	111	95.9	0.864	1175
<i>Zoetwatervis/botcollageen</i>					
IJsselmeer A	1995	111	101.0	0.910	760
IJsselmeer B	1995	111	94.8	0.854	1270
Heegermeer	1995	111	97.2	0.876	1065

se meren in kalkarme gebieden. Waarschijnlijk speelt CO₂ uit organisch sediment een belangrijke rol bij het ontstaan van deze effecten.

Aangezien de ¹⁴C-activiteit in zoet water afhankelijk is van verschillende factoren, is dus niet sprake van één, duidelijk omschreven reservoir effect, zoals in de noordelijke Atlantische Oceaan en zijn randzeeën. De schijnbare ouderdommen moeten lokaal worden vastgesteld. De snelste wijze is uiteraard het meten van de ouderdom van vlees of botcollageen van vis, of vlees en schelpen van zoetwatermosselen, waarvan het jaar van verzamen bekend is. Daarbij moet worden aangenomen, dat deze dieren hun voedsel geheel of grotendeels uit een zoetwatervoedselketen betrokken hebben. Dergelijke ouderdomsbepalingen zijn in Nederland al op kleine schaal verricht, maar aan vis en zoetwatermosselen uit de periode na de kernbomexplosies in de atmosfeer, op één uitzondering na. Bij dit recente materiaal is de bepaling van reservoir effecten enigszins problematisch. De conventionele ¹⁴C-ouderdom is van geen belang, omdat daarbij geen rekening wordt gehouden met de sterk verhoogde ¹⁴C-activiteit van de atmosfeer ten gevolge van de kernbomproeven in de jaren '60. Anderzijds is de omloopsnelheid van het infiltrerende regenwater een onbekende grootte, waardoor vergelijking van de ¹⁴C-activiteit in water en in schelpen en vlees van zoetwaterdieren, en van de gelijktijdige ¹⁴C-activiteit van hout (dat immers volgens de conventies het materiaal is, waarin de 'recente activiteit' wordt bepaald) een element van onzekerheid introduceert. Desondanks lijkt berekening van een 'gecorrigeerde ouderdom' op basis van de ratio's gemeten activiteit/gelijktijdige activiteit in hout voor de hand te liggen (zie tabel 1).

Het is duidelijk dat vrijwel alle zoetwater een reservoir effect toont. Alleen het vennetje bij Nietap vormt in dit opzicht een uitzondering. Opvallend is wel dat zelfs in stagnerend kanaalwater, als in de Oude Hunze, Warffumerdiep en Leermenster Maar en in een meer als de Loenense Plas, duidelijke reservoir effecten aanwezig zijn. Gedeeltelijk zal dit het gevolg zijn van toestroom van kwelwater, voor een belangrijk deel echter van toevoer van oude ¹⁴C uit veen en ander organisch sediment in de ondergrond. Dat het kanaalwater in de NO-Polder grote reservoir effecten toont, is ongetwijfeld het gevolg van de sterke kwel van grondwater, die voortdurende bemaling nodig maakt. Verbazingwekkend zijn echter de grote reservoir effecten in het IJsselmeer, die alleen verklaard kunnen worden d.m.v. afbraak-CO₂ uit oud organisch materiaal (veen?). Het is in ieder geval duidelijk dat door het consumeren van zoetwatervis de consument een aanzienlijk reservoir effect kan opbouwen, een veel groter effect dan een overeenkomstige portie zeevis zou opleveren.

Het is ook mogelijk reservoir effecten te bepalen in archeologisch materiaal als visbotten, en wel in het botcollageen. Voorwaarde is dat de vindplaatsen van deze visbotten scherp gedateerd kunnen worden door

middel van ¹⁴C-dateringen aan hout, houtskool of been van terrestrische dieren. Aangezien de reservoir effecten afhankelijk zijn van de biotoop, zal dus bekend moeten zijn of de betreffende vissen uit stromend of stilstaand water afkomstig waren. Een alternatief is het dateren van botcollageen van otters. Deze zoogdieren leven immers voornamelijk van vis (Fairley, 1984: ch. 11; Brinkhuizen, 1994). Overigens is enige voorzichtigheid geboden, omdat otters ook in brak en zout water kunnen foerageren. Het moet dus wel duidelijk zijn in welk type water de te dateren otters hebben gejaagd.

2.4. Reservoir effecten in brak water

In brak water ontstaan uit menging van zeewater en rivierwater kunnen ¹⁴C-activiteit, ^δ¹³C en uiteraard ook de bijbehorende reservoir effecten eenvoudig berekend worden uit de mengratio van beide watersoorten, die af te leiden is uit het chloridegehalte. Mook (1968) heeft dat aangetoond voor de Westerschelde. Heier Nielsen et al. (1994) hebben reservoir effecten tot 900 jaar gemeten in Deense fjorden.

3. DE FRACTIONERING VAN ¹³C IN DE VOEDSELKETEN

3.1. De fractionering van ^δ¹³C in terrestrische voedselketens

Lee-Thorp et al. (1989) hebben een model opgesteld voor de fractionering van ¹³C in de terrestrische voedselketen van plant tot carnivoor, voor verschillende bestanddelen van de weefsels, en voor botapatiet (fig. 2). Dit model gaat ervan uit, dat proteïnen in de weefsels van de consument gevormd worden uit de proteïnen in het genuttigde voedsel en dat de verrijking van ¹³C die daarbij optreedt het gevolg is van isotopenfractionering tijdens de chemische omzettingen die daarvoor nodig zijn. De carbonaatfractie in het botapatiet daarentegen wordt gevormd uit kooldioxide in het bloed, waarvan de isotopensamenstelling een afspiegeling is van die van de energie-leverende bestanddelen in het voedsel, te weten koolhydraten, vetten en proteïnen. De carbonaatfractie in het botapatiet geeft derhalve een goede indruk van de gemiddelde isotopensamenstelling van het voedsel. Ambrose & Norr (1993) vonden experimenteel overigens slechts een verschil van 9 à 10‰ tussen gemiddeld dieet en carbonaat bij ratten, in plaats van 12‰.

In de gematigde klimaatzones behoren alle belangrijke voedselgewassen tot de zogenaamde C-3-planten die waarden van ^δ¹³C van $-26 \pm 1\%$ hebben. De enige uitzonderingen zijn de verschillende soorten gierst en maïs, die tot de C-4-planten behoren, met waarden van ^δ¹³C van $-12 \pm 1\%$ (fig. 3). Pluimgierst (*Panicum miliaceum*) werd vanaf het vroegste neolithicum in Midden-Europa verbouwd, maar steeds op vrij kleine schaal

(Körber-Grohne, 1987). Maïs speelde voor de 20e eeuw geen rol van betekenis in onze streken. Dat betekent dat herbivoren die uitsluitend C-3-planten eten, botcollageen hebben met waarden voor $\delta^{13}\text{C}$ van $-21 \pm 1\text{‰}$, en carnivoren die C-3-herbivoren eten, botcollageen met waarden voor $\delta^{13}\text{C}$ van $-18 \pm 1\text{‰}$. Voor mensen die plantaardig C-3-voedsel eten en vlees van C-3-

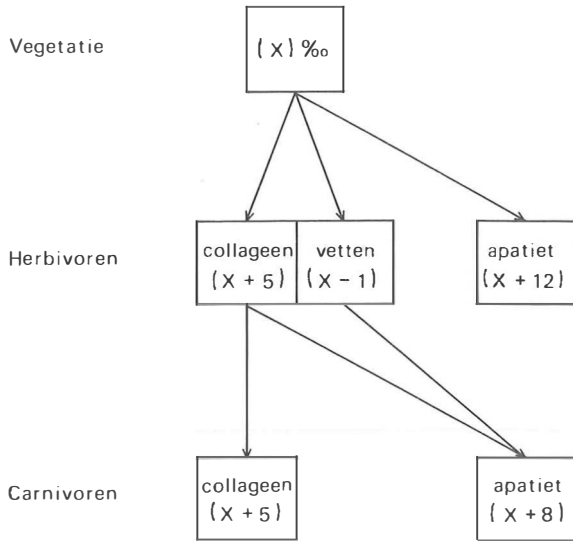


Fig. 2. De fractionering van ^{13}C in de terrestrische voedselketen (naar Lee-Thorp et al., 1989).

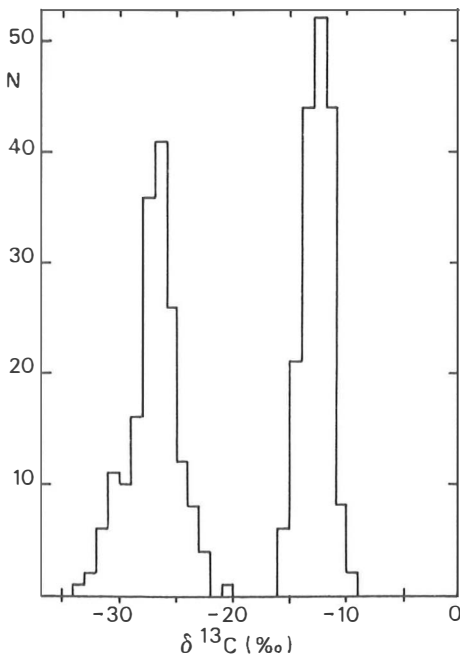


Fig. 3. Histogram van het ^{13}C -gehalte van 351 soorten grasachtigen, dat het duidelijke verschil toont tussen C-3 planten, links, en C-4 planten, rechts (naar *Fractionation of the carbon isotopes*, Heidelberg Akademie der Wissenschaften, 1980).

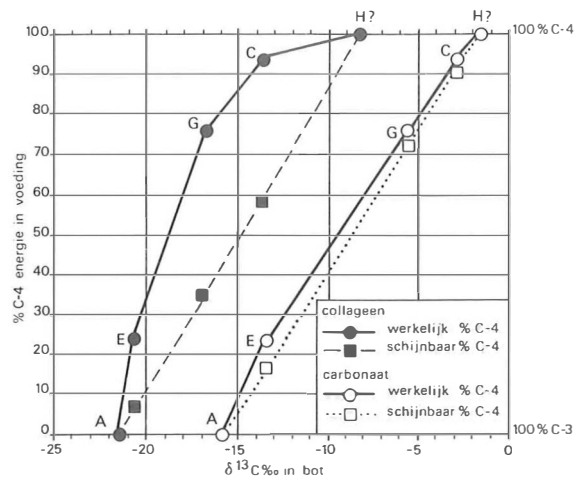


Fig. 4. Werkelijke samenstelling van 5 experimentele diëten, bestaand uit C-3 proteïnen en C-4 koolhydraten/vetten, en schijnbare samenstellingen uitgaand van een lineair mengmodel en gemeten $\delta^{13}\text{C}$ -waarden in botcollageen en -carbonaat van ratten, grootgebracht met deze 5 diëten (naar Ambrose & Norr, 1993). Voorbeeld: dieet G met 25% C-3 proteïne resulteert in botcollageen dat op grond van een lineair mengmodel gevormd lijkt te zijn uit een dieet met 65% C-3 proteïne. Botcarbonaat geeft wel een betrouwbare weergave van de samenstelling van het dieet.

herbivoren zijn waarden van $\delta^{13}\text{C}$ in het botcollageen te verwachten tussen -21 ± 1 en $-18 \pm 1\text{‰}$, afhankelijk van de hoeveelheid vlees in het voedsel.

Experimenteel hebben Ambrose & Norr (1993) aangetoond dat de waarde van $\delta^{13}\text{C}$ in botcollageen van ratten niet alleen afhangt van die van de proteïne fractie van het genuttigde voedsel, maar ook afhankelijk is van het aandeel proteïne in het totale voedselpakket, en van het verschil in $\delta^{13}\text{C}$ -waarden van proteïne fractie en niet-proteïne fractie (d.i. energie-leverende bestanddelen als koolhydraten en vetten). Zij concluderen dat $\delta^{13}\text{C}$ -waarden van botcollageen een overschatting van het aandeel proteïne in het voedsel te zien geven, vooral wanneer dit voedsel slechts kleine hoeveelheden proteïnen bevat (fig. 4). De verklaring daarvoor is ongetwijfeld, dat proteïnen in de eerste plaats worden gebruikt voor de aanmaak van weefsels als collageen, en pas bij overmaat ook voor de energiehuishouding. Hetzelfde geldt ongetwijfeld ook voor mensen. Een en ander betekent overigens wel, dat de simpele lineaire mengmodellen die vaak in *paleo-diet studies* werden (en worden) toegepast, onbruikbaar zijn. Daarentegen blijken waarden van $\delta^{13}\text{C}$ in botcarbonaat wel een nauwkeurig beeld te geven van de gemiddelde isotopensamenstelling van het totale voedselpakket, waar lineaire mengmodellen wel op mogen worden losgelaten.

Onlangs hebben Van Klinken, Van der Plicht en Hedges (1994) erop gewezen, dat in Europa de gemiddelde waarden van $\delta^{13}\text{C}$ in hout en houtskool een geografische trend tonen, die vermoedelijk klimatologisch bepaald is. Een overeenkomstige trend zien zij

ook in de gemiddelde waarden van $\delta^{13}\text{C}$ in botcollageen. Daarbij hebben zij echter dierlijk en menselijk bot samen genomen, hetgeen methodologisch niet correct is: dierlijk en menselijk botcollageen dienen afzonderlijk behandeld te worden. In figuur 5 zijn alle waarden voor $\delta^{13}\text{C}$ in Nederlands botcollageen, bepaald in het Groninger isotopenlaboratorium, grafisch weergegeven, uitgesplitst naar dierlijk, menselijk: neolithisch tot en met Romeins, en menselijk: middeleeuws. Grotendeels betreft het bepalingen ten behoeve van ^{14}C -ouderdomsmetingen. Met name bij het prehistorische menselijke bot is echter gebruik gemaakt van metingen verricht door Runia, in het kader van zijn *paleo-diet studies*.

Het dierlijke bot is in de meeste gevallen afkomstig van herbivoren met de nadruk op rund, hert, paard en in mindere mate schaaap/geit. Slechts enkele omnivoren, als hond en varken, zijn aanwezig. Typische carnivoren ontbreken. De gemiddelde waarde van $\delta^{13}\text{C}$ over 139 bepalingen is $-21,20\text{‰}$, met een standaarddeviatie van $0,58\text{‰}$ en een werkelijke spreiding van $-19,62$ tot $-22,80\text{‰}$. Voor menselijk bot uit prehistorie en Romeinse tijd ($N = 81$) is de gemiddelde waarde van $\delta^{13}\text{C}$

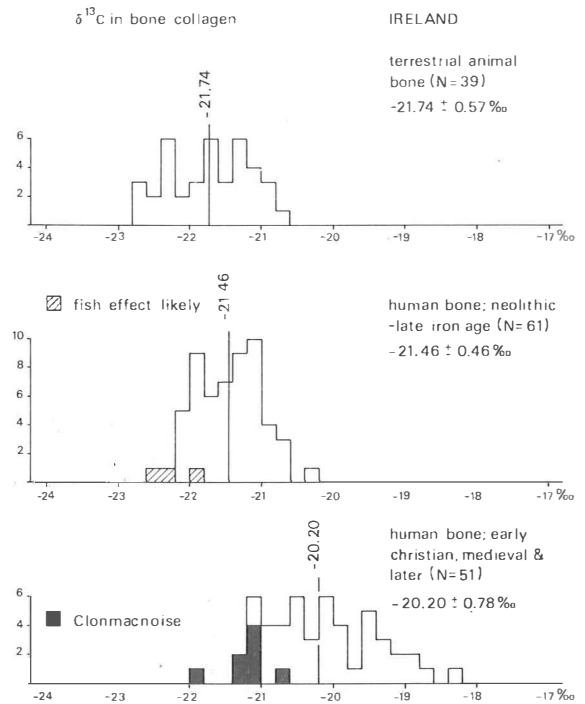
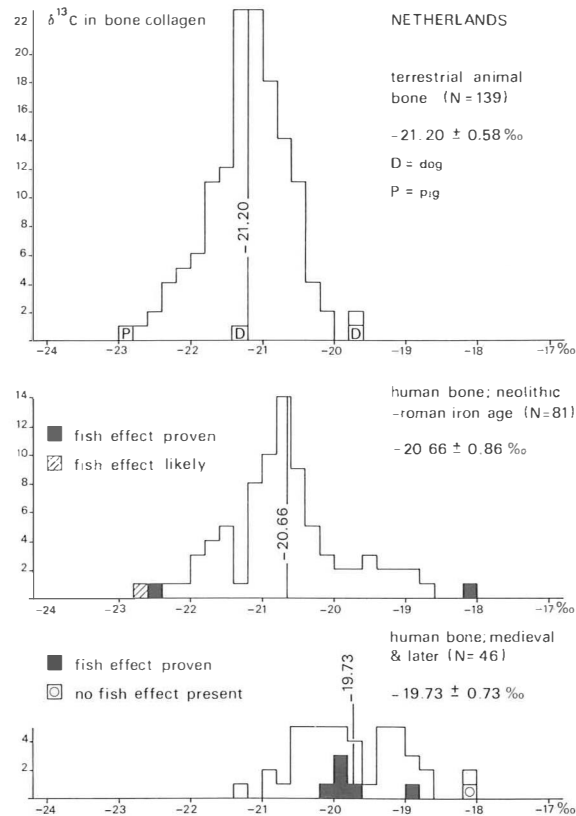


Fig. 6. Histogrammen van $\delta^{13}\text{C}$ -waarden in Iers botcollageen: a. Terrestrische zoogdieren; b. Mensen: Neolithicum t/m IJzertijd; c. Mensen: middeleeuwen en jonger. Alleen Groninger metingen zijn gebruikt.

$-20,66\text{‰}$, met een standaarddeviatie van $0,86\text{‰}$ en een spreiding van $-18,10$ tot $-22,60\text{‰}$, voor menselijk bot uit de middeleeuwen ($N = 46$) $-19,67\text{‰}$, met een standaarddeviatie van $0,73\text{‰}$ en een spreiding van $-18,05$ tot $-21,30\text{‰}$.

Voor Ierland kunnen overeenkomstige grafieken worden vervaardigd, eveneens met gebruikmaking van metingen van het Groninger isotopenlaboratorium (fig. 6). Voor dierlijk botcollageen ($N = 39$) is de gemiddelde waarde $-21,74\text{‰}$ (standaarddeviatie $0,57\text{‰}$, spreiding $-20,75$ tot $-22,71\text{‰}$), voor neolithisch tot en met 'inheems-Romeins' menselijk botcollageen ($N = 61$) $-21,46\text{‰}$ (standaarddeviatie $0,46\text{‰}$; spreiding $-20,39$ tot $-22,54\text{‰}$) en voormiddeleeuws botcollageen ($N = 51$) $-20,20\text{‰}$ (standaarddeviatie $0,78\text{‰}$, spreiding $-18,22$ tot $-21,86\text{‰}$).

Bij het dierlijke bot uit Nederland en Ierland is inderdaad de door Van Klinken et al. (1994) gepostuleerde geografische trend zichtbaar. Bij het menselijke bot uit beide landen is een verschuiving naar minder negatieve waarden zichtbaar, vooral bij het middeleeuwse materiaal. De verschuivingen, zowel die van het menselijke materiaal t.o.v. het dierlijke, als die tussen beide groepen menselijk materiaal, kunnen alleen maar verklaard worden in termen van verschillen in geconsumeerd voedsel.

In een C-4-voedselketen zijn de waarden voor $\delta^{13}\text{C}$ in

botcollageen $-7 \pm 1\%$ voor herbivoren en $-4 \pm 1\%$ voor carnivoren. Voor mensen met een dieet van C-4-planten en vlees van C-4-herbivoren liggen de waarden tussen -7 ± 1 en $-4 \pm 1\delta$. Zo zijn voor Middenamerikaanse landbouwers met een zware nadruk op maïs in het voedselpakket waarden van $-7,5$ tot $-5,5\%$ beschreven in de literatuur (Schoeninger et al., 1983: fig. 1B). Uiteraard geldt ook hier, dat lineaire mengmodellen niet mogen worden gebruikt, om de aandelen plantaardig C-4-voedsel en -vlees te berekenen.

3.2. De fractionering van ^{13}C in mariene en zoetwatervoedselketens

Hoewel de mariene voedselketen aanzienlijk gecompliceerder is dan de terrestrische, is het eindresultaat toch tamelijk uniform. Botcollageen van mensen die grotendeels of geheel afhankelijk zijn van marien voedsel, heeft waarden voor $\delta^{13}\text{C}$ die bij $-13 \pm 1\%$ liggen (Schoeninger & Moore, 1992: p. 264).

Aan zoetwatervoedsel is in *paleo-diet studies* tot dusverre weinig aandacht besteed en de weinige gepubliceerde gegevens zijn niet eenduidig. Dat komt omdat verschil gemaakt moet worden tussen stromend en stagnerend zoet water. In de Nederlandse rivieren fluctueert het ^{13}C -gehalte van het opgeloste bicarbonaat, met de hoogste waarden van $\delta^{13}\text{C}$ in de zomer en de laagste in de winter. Er is een klein verschil tussen typische regenrivieren als Maas en Vecht ($\delta^{13}\text{C}$ variërend van -13 tot -10%) en rivieren met een alpiene smeltwatercomponent als Rijn en IJssel (-12 tot -9%) (Mook, 1968: ch. 4). In stagnerend water vindt isotopen-uitwisseling met de atmosfeer plaats, waardoor uiteindelijk een evenwichtssituatie kan ontstaan, met $\delta^{13}\text{C}$ voor opgelost bicarbonaat tussen $+1$ en 0% (CO_2 in de atmosfeer ca. -7%). Dat vindt ook plaats in plassen en meren. In het IJsselmeer loopt $\delta^{13}\text{C}$ op van ca. -11% bij de monding van de IJssel tot ca. 0% bij de uitwaterende sluisen in de Afsluitdijk (Mook, 1968: ch. 4).

Aan het begin van de zoetwatervoedselketen staat uiteraard de assimilatie door plankton en waterplanten. Mook (1968: p. 120) stelde vast dat een fractionering van -23 à -24% optreedt tussen opgelost bicarbonaat en plankton. Dat betekent dat in plankton en waterplanten in de Nederlandse rivieren met waarden van $\delta^{13}\text{C}$ tussen -37 en -32% te rekenen is en in stagnerend water met waarden die kunnen oplopen tot -23% . Hogerop in de voedselketen zijn minder negatieve waarden te verwachten, waarbij verschillen zullen optreden tussen plankton/planteneters enerzijds en carnivoren anderzijds in hetzelfde water. In Groningen zijn metingen verricht aan vlees van mosselen en 'vlees' en botcollageen van vis (tabel 2). Het 'vlees' werd niet ontvet en de zuivere proteïnen hebben minder negatieve waarden dan de metingen suggereren. Dat is van belang, omdat proteïnen wel en vetten niet bijdragen tot de opbouw van botcollageen. Paling is een zeer vette vis; brasemen voorn zijn matig vet, terwijl snoekbaars als mager te boek staat (De Groot et al., 1988).

Tabel 2. $\delta^{13}\text{C}$ in zoetwatervis en -mosselen.

Zoetwatermosselen/vlees:		$\delta^{13}\text{C}$
Loenense plas		-22.2 ‰
Leermenster Maar/Arwerd		-31.5 ‰
Nietap, ven		-32.9 ‰
Eelderdiep/Schelfhorst		-34.8 ‰
Drentse A/Glimmen		-35.1 ‰
Zoetwatervissen/vlees:		$\delta^{13}\text{C}$
Drentse A/Zeege	Voom	-29.1 ‰
Voorste Diep/Borger	Voom	-32.7 ‰
Reitdiep/Elektra	Brasem	-27.5 ‰
Reitdiep/Zoutkamp	Voom	-29.3 ‰
Boterdiep/Ellerhuizen	?	-29.9 ‰
NO-Polder/Zwolve Vaart	Paling	-37.2 ‰
NO-Polder/Zwolve Vaart	Voom	-36.2 ‰
IJsselmeer A	Snoekbaars	-24.7 ‰
IJsselmeer B	Snoekbaars	-25.9 ‰
Heegermeer	Snoekbaars	-28.1 ‰
Zoetwatervissen/botcollageen		$\delta^{13}\text{C}$
IJsselmeer A	Snoekbaars	-26.0 ‰
IJsselmeer B	Snoekbaars	-27.1 ‰
Heegermeer	Snoekbaars	-26.6 ‰

In de literatuur zijn weinig gegevens te vinden over de fractionering van $\delta^{13}\text{C}$ in zoetwatervis. Katzenberg et al. (1995: p. 344) suggereren dat visvlees waarschijnlijk $2-4\%$ negatiever is dan collageen in visbot. De metingen in Groningen aan een snoekbaars uit het Heegermeer suggereert een verschil van ca. $1,5\%$. Dat bij de beide snoekbaarzen uit het IJsselmeer het botcollageen negatiever is dan het vlees hangt hoogstwaarschijnlijk samen met een verandering van biotoop. Tegelijkertijd is namelijk ook het reservoir-effect van het botcollageen van deze beide snoekbaarzen aanzienlijk geringer dan dat van het vlees (snoekbaars A: 760 jaren; snoekbaars B: 1270 jaren). In beide gevallen gaat het om vissen met een leeftijd van ca. 10 jaren. Kennelijk zijn zij in de loop van hun leven verhuisd van een riviersituatie naar stagnerend zoet water met een hoog aandeel oude CO_2 .

Uit de literatuur zijn waarden van $\delta^{13}\text{C}$ bekend van vlees van riviermossel ($-29,1\%$) en van forellen ($-28,8 \pm 2,7\%$) van de Canadese westkust (Chisholm et al., 1983: table 1) en van botcollageen van vis uit Lake Erie en Lake Ontario, variërend van $-23,1\%$ bij plankton/planteneters tot $-17,8\%$ bij carnivoren (Katzenberg, 1989: table 3). Schoeninger & DeNiro (1984: table 1) vermelden waarden voor $\delta^{13}\text{C}$ in botcollageen van $-19,1\%$ voor *lake trout* en van $-19,6$ tot $-23,7\%$ voor meerval van verschillende locaties in de Verenigde Staten. Kennelijk gaat het hierbij eveneens om vis uit meren. Runia (1987) heeft van collageen uit palingbeenderen uit de bronstijd nederzetting van Bovenkarspel-Het Valkje $\delta^{13}\text{C}$ bepaald: $-21,64\%$. Voorde vergelijking is van belang te weten dat door het grootschalige gebruik van fossiele brandstof sinds ca. 1800 een ver-

Tabel 3. Gemiddelde waarden van $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$, en reservoir-effecten die te verwachten zijn bij een 100 %-dieet van een van de onderstaande categorieën.

	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	Reservoir-effect (in jaren)
Plantaardig C-3	-21 ‰	+5 ‰	-
Vlees van C-3-herbivoren	-18 ‰	+8 ‰	-
Plantaardig C-4	-7 ‰	+5 ‰	-
Mariene voedsel	-13 ‰	+18 ‰	400
Zoetwatervis/rivieren	-24 ‰	+16 ‰	1500-2500
Zoetwatervis/meren	-20 ‰	+16 ‰	500-1500

schuiving is te constateren in de waarden van $\delta^{13}\text{C}$ tussen materiaal voor 1800 en recent materiaal. In overeenkomstig weefsel is $\delta^{13}\text{C}$ momenteel 1,5‰ negatiever dan vroeger (Tieszen & Fagre, 1993). De meting van Bovenkarspel-Het Valkje correspondeert dus met een recente waarde van ca. -23‰.

In tegenstelling tot de mariene voedselketen is het voor zoet water niet mogelijk een gemiddelde waarde te geven voor $\delta^{13}\text{C}$ in botcollageen van, overigens hypothetische, mensen die volledig van zoetwatervoedsel afhankelijk zijn. Daar zijn de verschillen tussen rivieren en meerwater te groot. Maar op basis van de tot nu toe bekende waarden van $\delta^{13}\text{C}$ in vlees en botcollageen van vissen uit verschillende milieus, kan aangenomen worden dat consumptie van riviervis geleid zou hebben tot een $\delta^{13}\text{C}$ van ca. -24‰ in menselijk botcollageen, en vis uit meren en kanalen tot een $\delta^{13}\text{C}$ van ca. -20‰. Deze aanname zou getest kunnen worden door $\delta^{13}\text{C}$ te bepalen in botcollageen van otters, die als eindstadia van zoetwatervoedselketens beschouwd kunnen worden. Van elke otter zou wel precies de biotoop bekend moeten zijn.

4. RESERVOIREFFECTEN IN MENSELIJK BOTCOLLAGEEN

4.1. $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ als indicatoren van het genuttigde voedsel

Om te bepalen in hoeverre bij ^{14}C -dateringen aan menselijk botmateriaal verouderingen als gevolg van reservoir-effecten aanwezig zijn, is het belangrijk om inzicht te krijgen in het voedsel dat de betreffende mensen destijds hebben genuttigd, en in het bijzonder het aandeel zee- en zoetwatervis daarin. Het probleem daarbij is, dat sprake is van een aantal categorieën voedsel. Als we ons tot Nederland beperken, dan moet in ieder geval rekening worden gehouden met de volgende mogelijkheden:

- plantaardig C-3-voedsel;
- vlees van C-3-herbivoren;
- plantaardig C-4-voedsel;
- zoetwatervis/-mosselen;

- zeevis en mariene schelpdieren.

Bij het plantaardige C-4-voedsel gaat het om pluimgierst, *Panicum miliaceum*. Dit gewas werd misschien wel op grotere schaal verbouwd dan uit paleobotanische overblijfselen blijkt (zie bijvoorbeeld Behre, 1991). Murray & Schoeninger (1988) constateerden met enige verbazing dat bij een ijzertijdpopulatie in het huidige Slovenië 60-70% van het geconsumeerde voedsel uit pluimgierst moet hebben bestaan. In de middeleeuwen en post-middeleeuwen heeft pluimgierst waarschijnlijk de rol van armenvoedsel gehad, dat uit oostelijk Midden-Europa werd ingevoerd. Pluimgierst werd niet als veevoer gebruikt. Maïs speelt in onze streken geen rol van betekenis, ook niet als veevoer, vóór de 20e eeuw.

In de regel beschikken we alleen over $\delta^{13}\text{C}$ -waarden voor botcollageen ten behoeve van de reconstructie van *paleo-diets*, terwijl deze waarden alleen niet voldoende zijn voor zo'n reconstructie. Een hoeveelheid C-4-voedsel leidt tot een zelfde verhoging van $\delta^{13}\text{C}$ als een stevig aandeel zeevis, terwijl anderzijds een vegetarisch C-3-dieet niet te onderscheiden is van een C-3-dieet met vlees en een redelijke portie zoetwatervis (zie 3.1 respectievelijk 3.2). Om het aandeel van de verschillende voedselbronnen beter te kunnen bepalen, is het nodig om ook $\delta^{15}\text{N}$, de verandering in de verhouding van de stabiele stikstofisotopen ^{15}N en ^{14}N , te bepalen. Deze is analoog gedefinieerd als $\delta^{15}\text{C}$:

$$\delta^{15}\text{N} = \left[\frac{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{monster}}}{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{standaard}}} \right] - 1 \times 1000\text{‰}$$

Als standaard wordt atmosferische stikstof (lucht) gebruikt.

De meeste planten nemen stikstof op in de vorm van nitraten uit de bodem. Sommige planten leven echter in symbiose met bacteriën, die stikstof rechtstreeks uit de lucht kunnen binden. Indien nitraten worden gebruikt, is $\delta^{15}\text{N}$ ca. +3‰; bij stikstofbinding via bacteriën circa +1‰. In een terrestrisch voedselketen vindt verrijking plaats tot 4 à 6‰ in botcollageen van herbivoren, en tot 7 à 9‰ in dat van carnivoren (Katzenberg, 1989: table 3; Schoeninger & DeNiro, 1984: fig. 2). In botcollageen van mensen die grotendeels of geheel van marien voedsel leven, heeft $\delta^{15}\text{N}$ waarden van $18 \pm 2\text{‰}$ (Schoeninger & Moore, 1992: p. 264). Van zoetwatervoedsel is opnieuw het minst bekend. Schwarcz et al. (1985) schrijven dat vlees van zoetwatervis $\delta^{15}\text{N}$ -waarden van rond 16‰ zou hebben, maar dat getal lijkt veel te hoog en is in ieder geval niet in zijn algemeenheid juist. De weinige gepubliceerde waarden van $\delta^{15}\text{N}$ voor zoetwatervis zijn gemeten aan botcollageen, niet aan vlees, en variëren tussen 3,6 bij planteneters en 9,9‰ bij carnivoren (Schoeninger & DeNiro, 1984: table 1; Katzenberg, 1989: table 3). In het botcollageen van Indiaanse populaties die kennelijk carnivore vis uit de Grote Meren als voornaamste proteïnebron hadden, werden waarden voor $\delta^{15}\text{N}$ van 12-14‰ gevonden. Aan

het einde van een zoetwatervoedselketen, bij otters bijvoorbeeld, zouden waarden van ca. 16‰ verwacht kunnen worden.

Samengevat (tabel 3) levert dat de volgende, gemiddelde waarden van $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ in botcollageen van mensen, als die een dieet zouden hebben genuttigd dat volledig uit de betreffende component bestond (in sommige gevallen dus hypothetisch!). Voor $\delta^{15}\text{N}$ geldt ongetwijfeld hetzelfde als voor $\delta^{13}\text{C}$, namelijk dat waarden van $\delta^{15}\text{N}$ in botcollageen een overschatting van het aandeel proteïne in het voedsel te zien geven (uitgaande van een lineair mengmodel), vooral wanneer dit voedsel kleine hoeveelheden proteïnen bevat. En ook hier is de verklaring dat proteïnen in de eerste plaats gebruikt zullen worden voor de vervanging en aanmaak van weefsels als collageen, en pas bij overmaat ook gebruikt zullen worden als energie-leverant.

4.2. ^{14}C -dateringen aan beenderen met historisch bekende ouderdom

4.2.1. Inleiding

In de meeste (hoewel nog steeds niet alle!) ^{14}C -laboratoria wordt ook $\delta^{13}\text{C}$ gemeten, omdat de waarde van $\delta^{13}\text{C}$ nodig is voor het berekenen van de correctie in de ^{14}C -ouderdom die het gevolg is van de fractionering van het isotoop ^{14}C . Helaas wordt $\delta^{15}\text{N}$ niet routinematig gemeten in botcollageen. Met behulp van $\delta^{13}\text{C}$ alleen kan slechts een beperkte uitspraak over het voedselpakket worden gedaan. Wanneer echter de historische leeftijd van een botmonster bekend is, kan geconstateerd worden of in de gemeten ^{14}C -ouderdom reservoir-effect aanwezig is. De grootte van dit reservoir-effect kan een indicatie geven voor het aandeel zee- of riviervis in het eten. Aan de hand van een aantal voorbeelden kan dit gedemonstreerd worden. Allereerst moet echter de statistische kant worden toegelicht.

Omdat radioactief verval een statistisch proces is, zal een herhaling van een meting van het aantal desintegraties onder dezelfde omstandigheden niet hetzelfde resultaat opleveren. De onzekerheid in het resultaat wordt uitgedrukt in de standaarddeviatie (sigma). De kans dat de 'ware' ^{14}C -ouderdom (die bepaald zou kunnen worden bij oneindig lange teltijd) binnen het ± 1 -sigma-traject van de gemeten ^{14}C -ouderdom ligt is 68,3%, binnen het ± 2 -sigma-traject 95,4% en binnen het ± 3 -sigma-traject 99,7%. De telstatistiek houdt tevens in dat in een grote serie ouderdomsbepalingen bij 31,7% van de dateringen, dus ruwweg één op drie, de ware ^{14}C -ouderdom buiten de ± 1 -sigma-trajecten ligt, bij 4,6%, dus ruwweg 1 op 20, buiten de ± 3 -sigma-trajecten, en bij 0,3%, dus ruwweg 1 op 330, buiten de ± 3 -sigma-trajecten. Dit zijn cijfers die in elke verhandeling over de ^{14}C -dateringsmethode zijn te vinden, maar die desondanks door de meeste archeologen (en andere gebruikers) vergeten worden als het op interpretatie van ^{14}C -getallen aankomt.

Deze kansverdelingen zijn van belang voor de interpretatie van de verschillen tussen 'verwachte' en gemeten ^{14}C -ouderdommen bij de historisch dateerbare skeletten. Die 'verwachte' ^{14}C -ouderdom is de ^{14}C -leeftijd die in een jaarringijcurve (zie 2.1) wordt afgelezen bij de bekende historische leeftijd. Gemakshalve is de verwachte ^{14}C -ouderdom uitgedrukt in een getal zonder onzekerheidsmarge, hoewel in feite de jaarringijcurve een eigen, zij het zeer kleine, standaarddeviatie kent. Gekeken wordt naar het verschil tussen gemeten en verwachte ^{14}C -ouderdom en de standaarddeviatie van de gemeten ouderdom. Dat verschil is uiteraard significant als het groter is dan 3x de standaarddeviatie. Dan is de kans dat het verschil niet reëel is verwaarloosbaar klein. Maar indien het verschil groter is dan 2x en kleiner dan 3x de standaarddeviatie, dan is de kans dat het verschil niet reëel is nog altijd maar 2,1% of minder. En zelfs indien het verschil tussen 1 en 2x de standaarddeviaties ligt, dan is de kans op een reëel verschil nog altijd groot.

4.2.2. De graven van het Hollandse Huis c.a.

In 1949 en 1951 werd een deel van de in 1574 grotendeels gesloopte abdijkerk van Rijsburg onderzocht. Deze werd na 1130 gebouwd als onderdeel van een klooster dat gesticht werd door Petronilla van Saksen, weduwe van graaf Floris II. Tussen 1132 en 1299 diende de kerk als één van de begraafplaatsen van leden van de grafelijke familie van het Hollandse Huis. In het koor werden 15 graven ontdekt. De skeletresten van 11 mannen en 4 vrouwen werden door Dijkstra (1979) onderzocht. Van 13 skeletten kon de identiteit met zekerheid of grote waarschijnlijkheid worden vastgesteld. Alleen van de skeletten Nr. 93 en Nr. 102, die voor de zuidelijke absis werden aangetroffen, was minder duidelijk aan wie ze moesten worden toegeschreven. Met Cordfunke (1987) en contra Dijkstra (1979; 1991) zijn we van mening dat deze skeletten moeten hebben behoord aan Dirk VI en Simon, broer van Dirk VI. Beiden zijn zonen van de stichtster van de abdij. Dirk VI kon bovendien niet in de grafelijke grafkapel in Egmond worden bijgezet, omdat hij kort voor zijn overlijden in 1157 door de abt van Egmond in de kerkelijke ban was gedaan.

De vrouwelijke leden van de familie en de echtgenotes van de graven werden, voor zover zij in Rijsburg werden bijgezet, op een enkele uitzondering na in de kloosteromgeving begraven, pal tegen de kerk aan. De daar ontdekte grafkuilen bevatten vaak meerdere skeletten, die grotendeels niet aan historisch bekende personen konden worden toegeschreven. Uiteindelijk meende Dijkstra (1991) alleen de vrouw in het met tufstenen beklede graf 198 met zekerheid te kunnen identificeren, en wel als Hadewig, dochter van Dirk VI, die non in de abdij was. Onzeker blijven de identificaties van de skeletten 197-2, 177-4 en 177-5 als respectievelijk Margaretha, dochter van Floris V, Beatrix

van Vlaardingen, echtgenote van Floris V, en Machteld, zuster van Floris V (Dijkstra, 1979; 1991). Met nadruk moet er op gewezen worden dat het skelet uit graf 174 niet benoemd kan worden. De vermelding in *Radio-carbon* 14 (1972), p. 104, dat het Beatrix, echtgenote van Floris V betref, berust op een misverstand.

Zes van de skeletten uit de kerk (Nrs 92, 93, 97, 98, 102 en 194) en twee uit de kloosteromgang (Nrs 174 en 198) werden ¹⁴C-gedateerd. De gepubliceerde getallen zijn:

92 : Floris V	GrN-677	945 ± 100	
	GrN-680	900 ± 70	
93 : Dirk VI	GrN-1111	1210 ± 40	
	GrN-3040	1120 ± 65	
	GrN-4235	1225 ± 50	δ ¹³ C = -19,0‰
97 : Floris IV	GrN-3026	1100 ± 25	
98 : Ada	GrN-1894	1050 ± 50	
	GrN-1895	960 ± 40	
102 : Simon	GrN-3029	1280 ± 50	
194 : Willem I	GrN-6097	1215 ± 50	δ ¹³ C = -19,9‰
174 : N.N.	GrN-4232	860 ± 55	δ ¹³ C = -20,2‰
198 : Hadewig	GrN-2968	1025 ± 45	

Helaas werd het merendeel van de Rijnsburgse skeletten gedateerd in de tijd dat de bepaling van δ¹³C geen routinezaak was. De betreffende ¹⁴C-ouderdommen moeten dus gecorrigeerd worden voor isotopenfractionering. Hiervoor is in dit artikel een waarde van δ¹³C van -20‰ aangenomen, corresponderend met een getal van 80 ¹⁴C-jaren dat bij de gemeten ¹⁴C-ouderdommen moet worden opgeteld. Indien de δ¹³C's minder negatieve waarden dan -20‰ hadden, zou dat overigens betekenen dat de ¹⁴C-dateringen nog ouder zouden worden. Om aan te geven dat sommige van de in tabel 4 genoemde ¹⁴C-ouderdommen niet gecorrigeerd zijn voor isotopenfractionering op basis van een gemeten waarde van δ¹³C, maar op basis van een aangenomen waarde, zijn de betreffende ¹⁴C-getallen voorzien van het prefix 'ca.'. Een waarde van δ¹³C wordt in zo'n geval niet genoemd. Behalve over de drie in Groningen bepaalde waarden van δ¹³C in botcollageen van Rijnsburgse skeletten, beschikken we ook over één nieuwe en twee duplo-bepalingen van δ¹³C en over drie bepalingen van δ¹⁵N, verricht in Pretoria (Vogel, 1991). In de tabel zijn niet alleen de ¹⁴C-ouderdommen van dezelfde skeletten gemiddeld, maar ook de in Groningen en Pretoria bepaalde waarden van δ¹³C.

In 922 werden de kerk van Egmond en bijbehorende goederen door de Westfrankische koning Karel de Eenvoudige aan de Westfriese graaf Dirk I geschonken. Deze liet op zijn nieuwe bezittingen een klooster bouwen. Zelf overleed hij voordat het klooster gereed was, maar voor zijn opvolgers diende de kerk als grafkapel tot gravin Petronilla rond 1130 de abdij Rijnsburg stichtte en de leden van de grafelijke familie daar werden begraven, op een enkele uitzondering na.

In 1904 en 1947/1948 werden vier graven van de grafelijke familie al vrijgelegd, maar de skeletresten

werden niet geborgen. Dat gebeurde pas in 1979/1980 door Cordfunke en Dijkstra (Dijkstra, 1991). Dijkstra nam ook de antropologische bewerking en identificatie van de skeletresten voor zijn rekening. De skeletresten werden vervolgens herbegraven. Recentelijk bleek echter dat van één van de skeletten, en wel van graaf Floris I, gestorven in 1061, nog een fragment borstbeen beschikbaar was voor ¹⁴C-datering (Cordfunke & Maat, 1995: p. 5): UtC-2930 1020 ± 50 BP, δ¹³C = -19,8‰

In levende planten en dieren worden de weefsels constant vernieuwd. De snelheid waarmee dit gebeurt varieert echter. De vervangingstijd van botcollageen wordt geacht in de orde van grootte van 10 à 20 jaren te zijn bij mensen. In tabel 4 is een gemiddelde veroudering van 10 jaren aangehouden. Van de aldus verkregen 'collageendatum' is in de ijkcurve van Pearson et al. (1986) de bijbehorende ¹⁴C-ouderdom opgezocht. Die ouderdom heeft echter alleen betekenis in het geval dat de overledene een dieet zonder reservoir effecten zou hebben gehad. In tabel 4 zijn de gegevens met betrekking tot de grafelijke familie samengevat.

Wat direct opvalt in deze serie is dat in vrijwel alle gevallen het verschil groter is dan 3x de standaarddeviatie en dus significant is. Alleen bij Floris I is het verschil kleiner, maar de kans dat in diens botcollageen een reservoir effect van meer dan 100 jaren aanwezig is, is groter dan 50%; van meer dan 50 jaren groter dan 85%. Het is jammer dat zo weinig waarden van δ¹³C en δ¹⁵N bekend zijn. Bij het anonieme skelet uit graf 174 werden deze wel bepaald: δ¹³C = -19,95‰ (gemiddelde van Groningen en Pretoria) en δ¹⁵N = +10,7‰. Dijkstra (pers. mededeling juli 1995) ziet Nr. 174 aan voor een abdis of non, die omstreeks Beatrix' begrafenis, of daarna, is bijgezet. Beatrix werd in 1296 begraven. In skelet 174 is dus een veroudering van ca. 220 jaren aanwezig.

4.2.3. Thidbald van Vlaardingen

Naast de dateringen aan leden van de grafelijke familie beschikken we ook over drie dateringen aan het skelet van Thidbald (tabel 5). Deze was aanvankelijk hofkapelaan van graaf Dirk VI van Holland, maar werd later benoemd tot bouwpaastoor van de nieuwe grafelijke kerk in Vlaardingen. Hij overleed in 1160 en werd in het hoofdkoor van de nog niet voltooid kerk begraven. Aan de identificatie is geen twijfel. De dateringen zijn: GrN-6099 1055 ± 35 BP, δ¹³C = -20,65‰, GrN-6383A 1075 ± 30 BP, δ¹³C = -19,37‰ en GrN-6383B 1050 ± 45 BP, δ¹³C = -20,05‰. De gemiddelde waarden zijn: 1063 ± 21 BP en -20,02‰.

4.2.4. Drie heiligen uit België

In de Onze-Lieve-Vrouwekerk van Hoei in België worden de relieken bewaard van de beide stadspatronen, Domitianus en Mengoldus. In 1981 werd de relieken-

Tabel 4. Samenvatting van de gegevens met betrekking tot de grafelijke familie.

	Sterf-datum	Collageen-datum	¹⁴ C-ouderdom volgens curve (BP)	Gemeten ¹⁴ C-ouderdom (BP)	Vershil	δ ¹³ C	δ ¹⁵ N
Floris I	1061	1051	910	1020 ± 50	110 ± 50	-19.8 ‰	-
Simon	ca. 1147	ca. 1137	900	ca. 1360 ± 50	ca. 460 ± 50	-	-
Dirk VI	1157	1147	920	ca. 1250 ± 30	ca. 330 ± 30	-18.85 ‰	+10.6 ‰
Hadewig	1167	1157	910	ca. 1105 ± 45	195 ± 45	-19.8 ‰	+10.9 ‰
Willem I	1222	1212	850	1215 ± 50	365 ± 50	-19.9 ‰	-
Floris IV	1234	1224	830	ca. 1180 ± 25	ca. 350 ± 25	-	-
Ada	1257	1247	800	ca. 1075 ± 35	ca. 275 ± 35	-	-
Floris V	1296	1286	640	ca. 995 ± 60	ca. 355 ± 60	-	-

Tabel 5. Samenvatting van de gegevens van overige historische bekende personen.

	Sterf-datum	Collageen-datum	¹⁴ C-ouderdom volgens curve (BP)	Gemeten ¹⁴ C-ouderdom (BP)	Vershil	δ ¹³ C	δ ¹⁵ N
Thidbald	1160	1150	920	1063 ± 21	143 ± 21	-20.0 ‰	
Domitianus	ca. 560	ca. 550	ca. 1530	ca. 1560 ± 50	ca. 30 ± 50		
Rombout	775	765	1250	ca. 1390 ± 50	ca. 140 ± 50		
Mengoldus	892	882	1180	ca. 1390 ± 70	ca. 210 ± 70		
St. Gerlach	1165	1155	920	1160 ± 30	240 ± 30	-19.6 ‰	+11.0 ‰
Adelbert	ca. 750	ca. 740	ca. 1280	1450 ± 55	ca. 170 ± 55	-21.35 ‰	

Tabel 6. Samenvatting van de gegevens met betrekking tot anonieme skeletten.

	Sterf-datum	Collageen-datum	¹⁴ C-ouderdom volgens curve (BP)	Gemeten ¹⁴ C-ouderdom (BP)	Vershil	δ ¹³ C
Valkenburg	ca. 40	ca. 30	ca. 1960	2120 ± 40	160 ± 40	-18.1 ‰
Maiden Castle	ca. 60	ca. 50	ca. 1950	1880 ± 35	-70 ± 35	-19.7 ‰
Krefeld-Gellep	ca. 260	ca. 250	ca. 1710	1840 ± 25	130 ± 25	-19.9 ‰
Londen	1782	1772	200	330 ± 55	130 ± 55	-18.9 ‰
Deventer	1795	1785	200	250 ± 50	50 ± 50	-18.3 ‰
Pompeii onderkaak	79	69	1980	ca. 2010 ± 35	ca. 30 ± 35	
Pompeii bot	79	69	1980	ca. 1960 ± 80	ca. -20 ± 80	

Tabel 7. Ouderdomsbepaling van historisch gedateerde dierlijke botten.

	Sterf-datum	Collageen-datum	¹⁴ C-ouderdom volgens curve (BP)	Gemeten ¹⁴ C-ouderdom (BP)	Vershil	δ ¹³ C
Krefeld-Gellep	70	65	1970	1880 ± 30	-90 ± 50	-20.4 ‰
Pompeii	79	79	1950	1955 ± 55	5 ± 55	-
Mary Rose	1545	1545	305	291 ± 27	-16 ± 27	-

schrijn geopend voor wetenschappelijk onderzoek, inclusief ¹⁴C-datering (Charlier & George, 1982). Domitianus was bisschop van Maastricht. In 535 en 549 nam hij deel aan concilies. Onderzoek in 1981 toonde aan dat hij ca. 50 jaar oud is geworden. Waarschijnlijk is hij tussen 500 en 510 geboren en tussen 550 en 560

overleden (De la Haye, 1991). Mengoldus was volgens de 12e-eeuwse *Vita Mengoldi* een 9e-eeuwse graaf Meingaud uit het Moezelgebied. Een graaf Meingaud in dit gebied wordt in 868 in een schenkingsakte genoemd. Deze zou, volgens een laat 10e-eeuwse bron, in 892 vermoord zijn in de abdij van Retel, waar hij leke-

abt was. In de kathedraal van Mechelen worden de relieken bewaard van Rombout, die in 775 werd vermoord (Réau, 1959). Monsters van de skeletten van Domitianus, Mengoldusen Rombout werden in Leuven gedateerd (Lv-1380 1480 ± 50, Lv-1381 1310 ± 70 respectievelijk Lv-784 1310 ± 50). Het laboratorium daar past geen correctie voor isotopenfractionering toe. De gepubliceerde ouderdommen moeten daarom met ca. 80 jaren gecorrigeerd worden (uitgaande van waarden voor $\delta^{13}\text{C}$ rond -20‰). Tabel 5 geeft een overzicht van de verschillende getallen.

4.2.5. St. Gerlach

In de kerk van Houthem-St. Gerlach worden de relieken van Gerlach bewaard. Volgens zijn *Vita* moet deze heilige in 1164 of 1165 zijn overleden (Mulder-Bakker, 1995). Onlangs is aan een klein monster een ouderdomsbepaling verricht (GrA-810); tevens zijn toen $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ van het botcollageen bepaald (tabel 5). Het verschil is uiteraard significant.

4.2.6. St. Adelbert van Egmond

Naast de genoemde dateringen met waarden voor $\delta^{13}\text{C}$ boven -20‰, is slechts één geval bekend van een datering aan menselijke skeletresten, waarbij de historische ouderdom met een redelijke mate van zekerheid bekend is en $\delta^{13}\text{C}$ een waarde heeft die ruim beneden -20‰ ligt. Het betreft de relieken van Adelbert van Egmond, van wie historisch vrijwel niets bekend is. Vis (1987) acht het zelfs onwaarschijnlijk, dat Adelbert een van de gezellen van Willibrord was, zoals in de 10e eeuwse *Vita* is beschreven. Hij wil niet verder gaan dan aan te nemen dat Adelbert een van de Britse *peregrini* was die in het voetspoor van Willibrord naar Friesland kwamen. Een sterfdatum rond het midden van de 8e eeuw is waarschijnlijk. Kort na 922 werd het gebeente van Adelbert door graaf Dirk I overgebracht naar het houten klooster van Egmond, dat later door brand verwoest werd. Zwartgeblakerde beenfragmenten werden op verzoek van Dijkstra in Pretoria voorbehandeld en in Oxford gedateerd (OxA-3025 1300 ± 70 BP, $\delta^{13}\text{C} = -21,3\%$). Later werd op verzoek van Cordfunke en Maat een tweede monster gedateerd in Utrecht (UtC-2542 1640 ± 80 BP, $\delta^{13}\text{C} = -21,4\%$). In tegenstelling tot Cordfunke & Maat (1995) zijn wij van mening dat er geen reden is deze datering als onbetrouwbaar te beschouwen. De waarde van $\delta^{13}\text{C}$ wijst niet op ingespoeld humeus materiaal, maar op collageen. De beide dateringen kunnen het beste gemiddeld worden: 1450 ± 55 BP, $\delta^{13}\text{C} = -21,35\%$. Tabel 5 geeft de gegevens weer.

Volgens Dijkstra (1993) zouden de relieken niet van Adelbert afkomstig kunnen zijn, omdat de Oxford-datering overeenkomt met de verwachte datering, uitgaande van de jaarringcurve. Hij meent, op grond van zijn ervaring met de graven van Holland, dat elk middeleeuws christelijk skelet een te oude ^{14}C -datering

heeft vanwege de consumptie van zeevis. De gemiddelde veroudering bedraagt volgens hem 240 jaren. Hij gaat er vanuit dat de echte relieken van Adelbert in 975 verloren zijn gegaan, toen de abdijkerk van Egmond door brand werd verwoest. De monniken zouden de relieken daarna vervangen hebben door beenderen van een contemporaine man, wiens lichaam bij lage temperatuur werd verbrand, om de beenderen die zwartkleuring te geven die de relieken zouden hebben gehad, indien ze de brand hadden overleefd. Deze verklaring is dus niet nodig. De Oxford-datering blijkt slechts toevallig overeen te stemmen met de 'verwachte' ^{14}C -ouderdom. Er is een reservoir-effect aanwezig van 170 ± 55 jaren. De waarde van $\delta^{13}\text{C}$ wijst in dit geval op een dieet dat zowel zee- als zoetwatervis omvatte.

Cordfunke en Maat lieten ook houtskool dateren die bij de relieken van Adelbert wordt bewaard: UtC-2543 1140 ± 60 BP, $\delta^{13}\text{C} = -26,4\%$. Deze houtskool zou afkomstig kunnen zijn van de reliekkist waarin de beenderen na de translatie, kort na 922, werden bewaard, of anders van de kapel van het houten klooster dat rond die tijd werd gebouwd. De ^{14}C -datering spreekt dit niet tegen.

4.2.7. Andere menselijke skeletresten met gemeten $\delta^{13}\text{C}$

Naast bovengenoemde skeletresten van historisch bekende personen beschikken we ook over een vijftal dateringen aan anonieme skeletten, die echter wel scherp dateerbaar zijn, en waarvan $\delta^{13}\text{C}$ boven -20‰ ligt. Het betreft het skelet van een onthoofde jongeman, begraven in het oudste Romeinse fort bij Valkenburg, volgens De Weerd (1977) te dateren rond 40 AD (GrN-4525 2120 ± 40 BP), het skelet van een man begraven in het *war cemetery* van Maiden Castle, Dorset, volgens Avery (1993) te dateren rond 60 AD (GrN-5086 1880 ± 35 BP), het skelet van een in een massagraf bijgezette Romein uit Krefeld-Gellep, volgens Pirling (1983) gesneuveld tijdens de Franken-inval van 257/60 AD (GrN-11361 1840 ± 25 BP), een begrafenis uit 1782 in Londen (GrN-4233 330 ± 55 BP), en een skelet uit een massagraf van Engelse soldaten uit 1795 in Deventer (GrN-15184 250 ± 50 BP) (Fuldauer & Bloemink, 1989). Tabel 6 geeft een en ander overzichtelijk weer.

Bij Valkenburg en Krefeld-Gellep is sprake van significante verschillen. Bij Londen-1782 is de kans dat geen veroudering aanwezig is zeer klein. Bij Deventer-1795 lijken verwachte en gemeten ^{14}C -ouderdom aardig overeen te stemmen: de kans dat een veroudering van meer dan 50 jaren aanwezig is, is slechts 50%. Bij Maiden Castle is voor de eerste keer sprake van een ^{14}C -datering die jonger uitvalt dan de verwachting. De kans dat hier een veroudering aanwezig is, is uiteraard zeer klein. Aangenomen moet worden dat bij dit skelet in feite sprake is van een 'verjonging' om telstatistische redenen.

4.2.8. Menselijke resten uit Pompeii

Tenslotte verdienen nog dateringen aan twee menselijke skeletresten uit Pompeii de aandacht. Het betreft een onderkaak die 3x (OxA-606, -792 en -1008, gemiddeld 2010 ± 35 BP) en een niet-gespecificeerd bot, dat slechts 1x gedateerd werd (OxA-425 1960 ± 80 BP). Helaas werden in Oxford destijds nog geen $\delta^{13}\text{C}$'s bepaald; de gepubliceerde ouderdommen werden gecorrigeerd voor isotopenfractionering op basis van een aangenomen waarde van -19‰ (tabel 6).

Gecorrigeerd naar een waarde van $\delta^{13}\text{C} = -21\text{‰}$ zouden de gemeten ouderdommen 1985 ± 35 , respectievelijk 1945 ± 80 zijn, en de verschillen 5 ± 35 , respectievelijk -35 ± 80 . Verouderingen als gevolg van reservoir-effecten zijn hier kennelijk niet aanwezig.

4.2.9. Historisch gedateerde dierebotten

Naast historisch gedateerd menselijk been kennen wij slechts drie voorbeelden van historisch gedateerd dierlijk bot dat ook ^{14}C -gedateerd is. Het betreft een paard uit een massagraf van 70 AD bij Krefeld-Gellep (Pirling, 1971), vogelbotten uit Pompeii van 79 AD en varkensbotten uit het wrak van de Mary Rose, die in 1545 zonk. Het paard werd 2x gedateerd (GrN-7195 1870 ± 45 en GrN-11.110 1885 ± 30 BP), evenals de vogelbotten (OxA-503 2000 ± 80 en OxA-529 1950 ± 70 BP). Bij de varkens gaat het om drie dateringen aan dezelfde rib (OxA-424 300 ± 60 , OxA-793 360 ± 80 en OxA-825 310 ± 80 BP) en om twee dateringen aan een (dezelfde?) femur (OxA-988 265 ± 45 en OxA-1106 350 ± 60 BP). De OxA-dateringen werden in de datelists als bovengenoemd vermeld, gecorrigeerd voor isotopenfractionering op basis van een aangenomen waarde van $\delta^{13}\text{C}$ van -19‰ . In deze publikatie zijn ze echter op basis van een waarde van -21‰ gecorrigeerd. In tabel 7 zijn de getallen overzichtelijk weergegeven.

De verschillen zijn niet significant. In alle drie gevallen kan worden aangenomen dat de dieren een terrestrisch dieet hebben gehad.

4.3. Hoe betrouwbaar zijn ^{14}C -dateringen van menselijk bot?

4.3.1. Het referentiemateriaal: $\delta^{13}\text{C}$ in dierlijk botcollageen

Als we bovengenoemde ^{14}C -dateringen aan menselijk botcollageen willen analyseren, dan moeten we beginnen met de bepalingen van $\delta^{13}\text{C}$ in dierlijk botcollageen en de ^{14}C -dateringen van de historisch dateerbare dierebotten. Allereerst kan geconstateerd worden, dat bij de drie historisch dateerbare dierebotten geen veroudering van de ^{14}C -leeftijd aanwezig is. Dat was natuurlijk ook niet te verwachten, omdat het om dieren gaat die een terrestrisch dieet hebben gehad. Maar als controle van de gevolgde methode van berekenen van

eventuele reservoir-effecten, is dit groepje natuurlijk waardevol.

De bepalingen van $\delta^{13}\text{C}$ in dierlijk botcollageen in fig. 5a zijn, zover bekend, alle verricht aan beenderen van Nederlandse landzoogdieren, voornamelijk van herbivoren als rund, paard en schaa/geit. De weinige dateringen aan botcollageen van varken en hond verstoren het beeld niet. Kleine carnivoren worden zelden of nooit gedateerd, evenmin als zeezoogdieren. Metingen aan botcollageen van laatstgenoemden zouden trouwens direct opvallen door hun minder negatieve waarden van $\delta^{13}\text{C}$. De $\delta^{13}\text{C}$ -waarden in dierlijk botcollageen in Nederland spreiden volgens een normaalverdeling met een gemiddelde waarde van $-21,20\text{‰}$ en een standaarddeviatie van $0,58\text{‰}$. De curve kan gebruikt worden als uitgangspunt voor de verdere discussie, omdat hij kenmerkend geacht mag worden voor een puur plantaardig C-3-dieet.

Dezelfde overgingen gelden voor de curve van $\delta^{13}\text{C}$ -waarden in dierlijk botcollageen in Ierland, afgebeeld in fig. 6a, zij het dat om klimatologische redenen (van Klinken et al., 1994) het gemiddelde iets negatiever is, namelijk $-21,74\text{‰}$. De standaarddeviatie is $0,57\text{‰}$.

Volledigheidshalve moet er nog op gewezen worden dat onder extreme omstandigheden afwijkende waarden voor $\delta^{13}\text{C}$, en zelfs reservoir-effecten, kunnen optreden in botcollageen van terrestrische herbivoren. Ambers (1990) heeft dat gedemonstreerd voor de schapen op North Ronaldsay (Orkney), die gedwongen zijn zeevieren te eten. Bovendien wijst zij op de invloed die zeggen en mossen zouden kunnen hebben vanwege hun zeer lage $\delta^{13}\text{C}$ -waarden (tot -32‰ ?). Of deze werkelijk op enige schaal door grazers geconsumeerd werden/worden, is echter niet duidelijk. De door haar geciteerde waarde van $-28,0\text{‰}$ in botcollageen van een neolithisch rund op Sanday (Orkney) is niet erg overtuigend, gezien de conditie van het bot. Noe-Nygaard (1988) en Clutton-Brock & Noe-Nygaard (1990) hebben aangetoond dat mesolithische honden kennelijk hetzelfde als hun bazen aten en dus in kustnederzettingen voedsel kregen met een sterk mariene component. Dat leidde uiteraard niet alleen tot waarden van $\delta^{13}\text{C}$ in de orde van grootte van -14 à -16‰ , maar ook tot reservoir-effecten, d.i. verouderingen in de ^{14}C -dateringen. Een goed voorbeeld daarvan is de hond van Seamer Carr. Deze nederzetting kan rond 9600 BP gedateerd worden, in een plateau van de ^{14}C -ijkcurve. Botcollageen van een wervel van de hond werd gedateerd op 9940 ± 100 BP (OxA-1030). Van twee wervels werd $\delta^{13}\text{C}$ in het botcollageen bepaald: $-14,67$ respectievelijk $-16,97\text{‰}$, met een gemiddelde van $-15,82\text{‰}$. Dat wijst weliswaar niet op een volledig marien dieet, maar wel op een zeer groot aandeel marien voedsel. Het te verwachten reservoir-effect is aanwezig volgens de ^{14}C -dateringen en bedraagt 340 ± 100 ^{14}C -jaren.

Overigens zijn bij het Nederlandse en Ierse dierlijke bot geen voorbeelden van deze extreme omstandig-

heden aanwezig. Deze zouden direct herkenbaar zijn door afwijkende waarden van $\delta^{13}\text{C}$.

4.3.2. $\delta^{13}\text{C}$ in menselijk botcollageen: neolithicum tot en met Romeinse tijd

In 3.1 is beschreven dat bij carnivoren die leven van C-3-herbivoren een verschuiving van ca. 3‰ in de richting van minder negatieve waarden optreedt, van ca. -21‰ naar -18‰. Regelmatige consumptie van grote hoeveelheden mager vlees, lees dierlijk eiwit, is voor mensen alleen mogelijk indien gelijktijdig grote hoeveelheden vet of koolhydraten worden verorberd. Als regel zal vleesconsumptie echter geen overdreven vormen aannemen. Voor neolithische tot en met vroeg-historische populaties op de zandgronden, op de kwelders en op de löss wordt in de regel aangenomen dat het voedsel bestond uit een aanzienlijke plantaardige component (graan en peulvruchten) en uit een kleinere component dierlijk voedsel. Bakels (1982) ging voor de Bandkeramische bevolking in Zuid-Limburg (5200-5000 v.Chr.) uit van 65-80% plantaardig en 35-20% dierlijk voedsel, waarbij dit laatste voornamelijk uit vlees en vet van runderen bestond. Het aandeel dierlijke eiwitten zal vermoedelijk 20-15% hebben bedragen. Alleen bij enkele populaties in natte milieus wordt met een flink aandeel uit jacht, verzamelen en visvangst rekening gehouden. Louwe Kooijmans (1983) schatte dat in Hekelingen III (ca. 2800 v.Chr.) slechts 20% van het voedsel door akkerbouw werd verkregen en 10% door veeteelt. De rest zou afkomstig zijn uit verzamelen (30%), jacht (20%) en visserij (10%). Of zo'n zware nadruk op dierlijk voedsel wel reëel is, moet nog blijken. Het jachtwild bestond overigens grotendeels uit C-3-herbivoren, namelijk herten.

In neolithisch-vroeghistorisch menselijk botcollageen in Nederland is de verschuiving van de gemiddelde waarde van $\delta^{13}\text{C}$ slechts ca. 0,5‰, van -21,20 naar -20,66‰ (fig. 5b). Dat zou kunnen betekenen dat de vleesconsumptie bij deze populaties nog onder de laagste waarde in Bakels' modelberekeningen lag. Volgens Ambrose & Norr (1993) moeten we er immers rekening mee houden dat $\delta^{13}\text{C}$ in botcollageen een overschatting van het aandeel proteïne in het voedsel te zien geeft. Maar enige voorzichtigheid is op zijn plaats. Er zijn aanwijzingen dat niet alleen met vlees, maar ook met visconsumptie gerekend moet worden. De curve heeft bij benadering nog steeds de vorm van een normaalverdeling, de spreiding is echter groter dan bij het dierlijk botcollageen, hetgeen niet wijst op een simpele verschuiving ten gevolge van vleesconsumptie. Bovendien kan vastgesteld worden dat de extreme waarden van $\delta^{13}\text{C}$, zowel aan de hoge als aan de lage kant, gepaard gaan met reservoir-effecten, die zeker het gevolg zijn van consumptie van vis. De hoogste waarde van $\delta^{13}\text{C}$, -18,1‰, werd gemeten bij het onthoofde skelet uit Valkenburg-castellum I, dat bij de historisch gedateerde skeletvondsten is behandeld. Er is een

reservoir-effect van 160 ± 40 ^{14}C -jaren aanwezig. Samen met de waarde van $\delta^{13}\text{C}$ wijst dit op een aanzienlijke consumptie van zeevis. Bij het slachtoffer gaat het vrijwel zeker om een geofferde krijgsgevangene, naar alle waarschijnlijkheid een Fries of een Chauk. Valkenburg I werd immers aangelegd om aan de piraterij van deze kustbewoners een einde te maken (de Weerd, 1977: p. 282).

Waarden van -22,55 en -22,60‰ werden gemeten bij de skeletten Swifterbant S-2 respectievelijk Molenaarsgraaf graf II. Site S-2 bij Swifterbant bestaat uit een nederzetting op een oeverwal, die slechts gedeeltelijk is onderzocht (van der Waals, 1977). Op grond van het aardewerk staat vast dat de nederzetting min of meer gelijktijdig was met de volledig onderzochte site S-3/S-5. Een concentratie houtskool uit de nederzettingsslaag van S-2, verzameld tijdens het onderzoek van G.D. van der Heide in 1964, werd gedateerd op 5300 ± 40 BP (GrN-5443). Van S-3 zijn 12 dateringingen aan hout en houtskool bekend, variërend van 5375 ± 40 tot 5205 ± 40 BP, met een gemiddelde van 5295 BP. Op S-2 werd ook een grafveldje ontdekt met minstens 9 graven. De grafkuilen bleken niet of nauwelijks in de ondergrond van de oeverwal ingediept te zijn, en waren opgevuld met de donkere grond van de nederzettingsslaag. Een en ander leidde tot de conclusie dat de graven werden aangelegd toen al een dik pakket nederzettingssafval aanwezig was. Theoretisch zouden graven en bewoning gelijktijdig geweest kunnen zijn, maar zeer waarschijnlijk werden de graven aangelegd op een verlaten nederzettingsterrein. Deckers (1979: p. 154) meende uit de ononderbroken ruimtelijke spreiding van scherven, vuursteen en ander nederzettingssafval te kunnen concluderen, dat de graven ouder waren dan de nederzetting. Maar indien de grafkuilen werden opgevuld met de grond die eruit afkomstig was, zijn hiaten in het verspreidingsbeeld ook niet te verwachten. De graven I-IV werden al in 1964 door Van der Heide vrijgelegd. Het skelet uit graf I werd naar Schokland getransporteerd; van de overige drie graven werden alleen de schedels gelicht en naar Utrecht vervoerd. Waarschijnlijk zijn uit graf I de botfragmenten afkomstig die in 1967 werden gedateerd op 5540 ± 65 BP (GrN-5606). In geen geval zijn de gedateerde botten afkomstig uit de graven V/VI, zoals Meiklejohn & Constandse-Westermann (1978: p. 48) schrijven. De graven V/VI werden immers pas in 1971/1972 bij geologisch veldwerk ontdekt en in 1975 door Van der Waals opgegraven.

Dat het skelet een oudere datering heeft dan de nederzettingsslaag kan alleen maar het gevolg zijn van reservoir-effect, en in de zoetwatergetijdendelta bij Swifterbant kan dat alleen maar een rivierreservoir-effect zijn. Dat riviervis een belangrijke rol speelde in het dieet, is op grond van de gevonden visresten (Clason & Brinkhuizen, 1978) niet te betwijfelen. Het reservoir-effect bedraagt dus minstens 240 ± 65 ^{14}C -jaren in dit geval.

Molenaarsgraaf II is het graf met de vishaakjes (Louwe Kooijmans, 1974), dat op grond van zijn N-Z-richting aan de Wikkeldraadperiode kan worden toegeschreven (Lanting, 1973). De datering van het skelet is 3630 ± 40 BP (GrN-5566), wat weliswaar binnen de marges van de Wikkeldraadperiode ligt, maar niet uitsluit dat bij dit skelet toch sprake kan zijn van een veroudering van 100 à 150 jaren ten gevolge van reservoir-effect. Gezien de ligging van de betreffende site en de waarde van $\delta^{13}\text{C}$ zou het reservoir-effect – indien aanwezig! – het gevolg moeten zijn van consumptie van riviervis.

Dat betekent natuurlijk niet dat reservoir-effecten alleen gecombineerd met extreme waarden van $\delta^{13}\text{C}$ voorkomen. Van de 81 in fig. 5b verwerkte waarden zijn echter maar 23 gemeten ten behoeve van ^{14}C -ouderdomsbepalingen; de overige 58 zijn gemeten door Runia in het kader van zijn *paleo-diet studies*, zonder dat ^{14}C -ouderdommen werden bepaald. Van de 20 resterende dateringen lijkt alleen die van Oostwoud 575 (het vlakgraf onder heuvel II, zie Louwe Kooijmans, 1985: p. 68) een reservoir-effect te hebben. De datering – 3945 ± 55 , GrN-6650C – is namelijk te oud voor een O-W-gericht graf met een man die gehurkt liggend op de linkerzijde werd begraven, met het hoofd naar het oosten. De waarde van $\delta^{13}\text{C}$ is $-20,91\text{‰}$, dus niet exceptioneel. Echter, een acceptabeler ^{14}C -ouderdom voor dit graf ligt binnen twee standaarddeviaties van de gemeten waarde: de oorspronkelijke datering is dus niet significant te oud.

Het is natuurlijk niet uit te sluiten dat alle of vrijwel alle ^{14}C -dateringen aan prehistorisch/vroeghistorisch menselijk been te oud zijn, omdat het waarschijnlijk is dat deze mensen allen of vrijwel allen regelmatig zoetwatervis of, in het geval van kustbewoners, zeevis zullen hebben gegeten. Indien dat het geval is, moet vastgesteld worden dat deze verouderingen niet erg groot kunnen zijn. De dateringen zijn in de regel namelijk overeenkomstig de verwachtingen, gebaseerd op de gangbare ^{14}C -chronologie, die gebaseerd is op hout- en houtskooldateringen.

Van de bovengenoemde historisch dateerbare skeletten die niet in Nederland zijn gevonden, heeft de in 60 AD gesneuvelde Brit uit Maiden Castle als enige een te jonge ^{14}C -datering, zij het dat deze verjonging niet significant is. Zijn dieet was kennelijk puur terrestrisch C-3 met een redelijke hoeveelheid vlees. In het geval van Krefeld-Gellep kan een klein percentage riviervis het geconstateerde reservoir-effect verklaren. Bij de menselijke resten uit Pompeii verbaast alleen dat geen reservoir-effecten aanwezig zijn. In een kustplaats zou zeevis in het dieet voor de hand liggen. Er is echter niets bekend over de sociale status van de personen in kwestie, en status zou wel eens een belangrijke rol in de samenstelling van voedselpakketten kunnen spelen.

Bij het Ierse menselijke bot uit neolithicum, brons-tijd en ijzertijd is de spreiding van de $\delta^{13}\text{C}$ -waarden kleiner dan bij het Nederlandse materiaal. De verschui-

ving ten opzichte van de curve van het dierlijk bot is ook kleiner: het gemiddelde is slechts $0,28\text{‰}$ verschoven, van $-21,74$ naar $-21,46\text{‰}$ (fig. 6b). Uitgesproken extreme waarden komen niet voor; desondanks bestaat de mogelijkheid dat de twee negatiefste waarden gecombineerd zijn met een reservoir-effect. In feite gaat het om drie graven met *food vessels*, gevonden bij Straid, Co. Derry (Brannon et al., 1990), die alle drie op grond van typonchronologische overwegingen zo'n 100 ^{14}C -jaren te oud lijken te zijn, met waarden van $\delta^{13}\text{C}$ van $-21,83$, $-22,31$ en $-22,54\text{‰}$. Voor het overige maakt de Ierse curve de indruk vrij nauwkeurig de invloed van consumptie van betrekkelijk geringe hoeveelheden vlees van C-3-herbivoren aan te geven. Meer dan 10% van het totale voedselpakket lijkt vlees niet te hebben gevormd, eerder minder als we Ambrose & Norr (1993) mogen geloven.

Een probleem bij de interpretatie van waarden van $\delta^{13}\text{C}$ in Iers en Nederlands menselijk botcollageen is dat gelijktijdig niet tevens $\delta^{15}\text{N}$ werd bepaald. De combinatie van $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ maakt het scheiden van vis respectievelijk C-4-voedsel aanzienlijk eenvoudiger. Het gemis van $\delta^{15}\text{N}$ zou gedeeltelijk ondervangen kunnen worden door het vaststellen van veroudering door reservoir-effecten respectievelijk het constateren van de afwezigheid daarvan. Maar dat is in de praktijk slechts in een gering aantal gevallen mogelijk. Bovendien is een groot gedeelte van het Nederlandse prehistorische skeletmateriaal niet ^{14}C -gedateerd, maar alleen onderzocht in het kader van de *paleo-diet studies* van Runia.

Wat de combinatie van $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ vermag, blijkt uit de metingen van beide in het botcollageen van populaties van 9 Britse vindplaatsen uit neolithicum en vroege bronstijd. De gegevens zijn overzichtelijk samengevat door Pollard (1993: fig. 2; deze publicatie: fig. 7). De 9 populaties laten zich in 3 groepjes indelen. Wor Barrow, Hambledon Hill en Shrewton representeren met hun waarden van $\delta^{13}\text{C}$ tussen -21 en -23‰ , en van $\delta^{15}\text{N}$ tussen $+3$ en $+8\text{‰}$, kennelijk het dieet van plantaardig

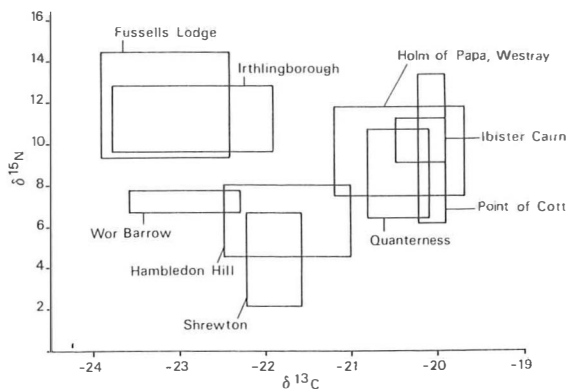


Fig. 7. Spreidingen van $\delta^{13}\text{C}$ - en $\delta^{15}\text{N}$ -waarden in menselijk botcollageen van 9 Britse vindplaatsen uit Neolithicum en Bronstijd (naar Pollard, 1993).

C-3-voedsel, aangevuld met vlees van C-3-herbivoren, dat in de modellen van Bakels figureert. Fussells Lodge en Irthingborough, met waarden van $\delta^{13}\text{C}$ tussen -22 en -24‰, en van $\delta^{15}\text{N}$ tussen +9 en +14‰, representeren populaties die naast C-3-voedsel aanzienlijke hoeveelheden zoetwatervis hebben genuttigd. Holm of Papa, Ibister, Point of Cott en Quanterness, alle vier op Orkney, vertegenwoordigen met waarden van $\delta^{13}\text{C}$ tussen -19,5 en -21‰, en van $\delta^{15}\text{N}$ tussen +6 en +13‰, kennelijk populaties waarvoor marien voedsel een rol van betekenis speelde, naast C-3-voedsel. Deze waarden zijn vergelijkbaar met die van 6 Nederlandse walvisvaarders, begraven op Spitsbergen, namelijk $-19,9 \pm 0,5\%$ respectievelijk $12,2 \pm 0,9\%$ (Schoeninger, 1989). Voor deze walvisvaarders wordt aangenomen dat zeevis (stokvis, haring) een belangrijke proteïnebron vormde. Zover ons bekend, zijn van het menselijk bot van genoemde Britse sites geen ^{14}C -dateringen verricht. Verwacht mag echter worden dat zowel bij Fussells Lodge en Irthingborough als bij de vier sites op Orkney te oude ^{14}C -leeftijden zullen voorkomen als gevolg van reservoir effecten. In dit verband mogen misschien ook de controverste resultaten van het klokbekeerderingsprogramma van het British Museum nog eens in herinnering worden geroepen (Kinnes *et al.*, 1991). Vrijwel zeker kan een deel van de afwijkende dateringen verklaard worden met reservoir effecten als gevolg van consumptie van vis. Bepaling van $\delta^{15}\text{N}$ zou hier uitkomst bieden.

Bij een aantal, recent gepubliceerde dateringen (Hedges *et al.*, 1995: p. 427) aan menselijk been uit grafvelden langs de Dnieper in de Oekraïne zijn verouderingen als gevolg van consumptie van riviervis wel herkenbaar. Het betreft vijf dateringen uit graven die toegeschreven kunnen worden aan fase II van de Dnieper-Donets cultuur (Telegin & Potekhina, 1987):

OxA-5029	Nikolskoye-125	6300 ± 80 BP	$\delta^{13}\text{C} = -23,5\%$
OxA-5052	Nikolskoye-137	6145 ± 70 BP	$\delta^{13}\text{C} = -23,2\%$
OxA-5030	Yasinovatka-64	6330 ± 90 BP	$\delta^{13}\text{C} = -22,0\%$
OxA-5057	Yasinovatka-36	6260 ± 180 BP	$\delta^{13}\text{C} = -22,5\%$
OxA-5031	Dereivka-109	6110 ± 120 BP	$\delta^{13}\text{C} = -23,4\%$

en één datering aan een grafveld bij Dereivka, dat aan fase II^a van de eneolithische Srednij Stog cultuur kan worden toegeschreven:

OxA-5032	Dereivka-5	5380 ± 90 BP	$\delta^{13}\text{C} = -22,2\%$
----------	------------	--------------	---------------------------------

Alle genoemde sites liggen aan de rivier, en de aanwezigingen voor visvangst zijn overduidelijk. Nikolskoye en Yasinovatka liggen bij de stroomversnellingen in de Dnieper, waar volgens Telegin & Potekhina (1987: vii) *unparalleled opportunities for fishing* aanwezig zijn. In de nederzetting van Dereivka werden niet alleen grote hoeveelheden visbot gevonden (Telegin, 1986: p. 87 en table 5), maar ook lagen schelpen van zoetwatermosselen (Telegin, 1986: p.8), die ongetwijfeld als voedsel geënd hebben.

Op grond van de kennelijk klimaatsbepaalde trend in $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -verhoudingen in hout en houtskool (van Klínken *et al.*, 1994) kunnen in de Oekraïne iets minder negatieve waarden verwacht worden dan in Nederland. Eenzelfde verschuiving t.o.v. het Nederlandse materiaal kan verwacht worden bij botcollageen van C-3-herbivoren en van mensen die op een dieet van C-3-planten en vlees van C-3-herbivoren leven. In het Nederlandse prehistorische menselijk bot zijn waarden van $\delta^{13}\text{C}$ lager dan -22‰ zeer uitzonderlijk, en in één geval aantoonbaar het gevolg van consumptie van riviervis. In de Oekraïne geldt dat dus in versterkte mate. De in Oxford gemeten waarden van $\delta^{13}\text{C}$ in de zes Oekraïense skeletten wijzen dus duidelijk op een belangrijk aandeel riviervis en -mosselen in het dieet. Dat betekent automatisch dat de gemeten ^{14}C -ouderdommen te oud zullen zijn als gevolg van rivierreservoir effect.

Anders dan Lillie, die de zes monsters in Oxford liet dateren, wil (zie commentaar in Hedges *et al.*, 1995: p. 427), wijzen de vijf dateringen van fase II van de Dnieper-Donets cultuur niet op een ca. 300 jaar vroeger begin van deze fase dan Telegin & Potekhina (1987) op grond van archeologische argumenten voorstelden. De ^{14}C -dateringen zijn simpelweg 300 of meer jaren te oud vanwege reservoir effect.

Datzelfde geldt ook voor de datering van fase II^a van de Srednij Stog cultuur. De werkelijke ^{14}C -ouderdom zal eerder rond 5000-4900 BP gezocht moeten worden. In dit verband is het nuttig om nog eens naar de vier ^{14}C -dateringen van de bijbehorende nederzetting te kijken. De beide dateringen verricht aan schelpen van zoetwatermosselen zijn onbruikbaar, omdat deze eveneens te oud zijn vanwege rivierreservoir effect. Dat betekent dat alleen de beide dateringen aan paardebotten, UCLA-1466A 5515 ± 90 BP en UCLA-1671A 4900 ± 100 BP, overblijven. Daarvan is de eerste om onduidelijke redenen veel te oud, zelfs ouder dan de schelpdateringen en geeft alleen de tweede een aanduiding van de juiste ouderdom van de nederzetting. Anders dan Lillie suggereert dateert Telegin (1986: p. 107, Period II-3) de Dereivka-fase van de Srednij Stog cultuur vlak na 5000 BP.

4.3.3. $\delta^{13}\text{C}$ in menselijk botcollageen: middeleeuwen en later

Bij het middeleeuwse en jongere menselijke bot in Nederland is sprake van een aanzienlijke verschuiving van de gemiddelde waarde van $\delta^{13}\text{C}$ vergeleken met dierlijk bot, met bijna 1,5‰ van -21,20 naar -19,73‰ (fig. 5c). De verschuiving vergeleken met het prehistorische menselijke bot bedraagt meer dan 0,9‰.

Verschillende factoren kunnen een rol gespeeld hebben bij deze opvallende verschuiving, zoals verhoogde consumptie van vlees en toename van de consumptie van gierst. Maar de belangrijkste factor is ongetwijfeld de sterke toename van zeevis in het menu. Door de

kerkelijke voorschriften en door een verbeterde infrastructuur werd de consumptie van zeevis sterk gestimuleerd. Tot het begin van de 13e eeuw was volgens de kerk consumptie van vlees niet toegestaan op woensdag, vrijdag en zaterdag gedurende de zes weken voor Pasen, en op een aantal andere vastendagen (Black, 1992: p. 9). Later werden deze regels afgezwakt. In de vroege 15e eeuw werd bijvoorbeeld op het Tolhuis te Lobith wel vlees gegeten op woensdagen (van Winter, 1981), terwijl in de loop van de 15e eeuw ook de zaterdag als vleesloze dag verdween (Black, 1992: p. 10). In plaats van vlees mocht op de vastendagen wel vis genuttigd worden. Daarnaast speelden verbeterde infrastructuur en betere conserveringsmethoden een rol. Uit historische gegevens en uit archeozoologisch onderzoek is bekend dat in de 12e eeuw zeevis al op grote schaal naar het binnenland werd verhandeld (Ypma, 1962: pp. 14-15; Brinkhuizen, 1979; van Neer & Ervynck, 1993). Haring, gezouten of gerookt, speelde toen al een belangrijke rol als goedkoop massavoedsel, evenals stokvis. Bij gebrek aan gegevens is niet bekend of zeevis al vóór de 12e eeuw op enige schaal verhandeld werd buiten het eigenlijke kustgebied. Naast zeevis bleef ook zoetwatervis een belangrijke rol spelen (Ypma, 1962: pp. 10, 31 en 33). Het is echter niet onwaarschijnlijk dat door allerlei heerlijke rechten en vanwege de hoge prijzen (Dyer, 1988) zoetwatervis vooral bij de hogere klassen op tafel verscheen. Hoe belangrijk zeevis in de 17e/18e eeuw nog was voor bepaalde bevolkingsgroepen blijkt uit het onderzoek van botcollageen van 6 Nederlandse walvisvaarders, begraven op Spitsbergen. Schoeninger (1989) vond binnen deze kleine groep weinig variatie, met waarden voor $\delta^{13}\text{C}$ van $-19,9 \pm 0,5\%$, en voor $\delta^{15}\text{N}$ van $+12,2 \pm 0,9\%$. Deze zeer hoge waarden van $\delta^{15}\text{N}$ kunnen alleen verklaard worden indien zeevis de belangrijkste proteïnebron was. Gedacht kan daarbij worden aan stokvis en haring.

Als de verschuiving van $1,5\%$ inderdaad het gevolg is van toegenomen consumptie van vis, dan moet dat ook zichtbaar zijn in verouderingen in de ^{14}C -leeftijden, als gevolg van reservoir effecten. Nu is het helaas niet mogelijk van elk skelet de historische ouderdom te bepalen en vast te stellen of een reservoir effect aanwezig is. Slechts van een kleine groep, bestaande uit leden van de elite en uit heiligen, zijn zowel de graven als de sterfdata exact of bij benadering bekend. Slechts een enkele maal is het mogelijk van een anonieme dode, op basis van stratigrafie of vondstassociatie in combinatie met een schriftelijke bron, de sterfdatum te bepalen. Significante verouderingen, tussen 195 ± 45 en 460 ± 50 ^{14}C -jaren, bleken aanwezig bij de leden van de grafelijke familie van Holland die in Rijnsburg waren begraven. Bij Floris I, die in Egmond lag begraven, was het effect kleiner; slechts 110 ± 50 jaren. Het zal onderhand duidelijk zijn dat deze verouderingen ontstaan moeten zijn door het eten van vis en/of schelpdieren. De twee gemeten waarden van $\delta^{15}\text{N}$ bij leden van deze familie

– $10,6$, en $10,9\%$ – wijzen in dezelfde richting. Dijkstra en Vogel hebben een poging gedaan de geconstateerde verouderingen te verklaren met marien reservoir effect, maar die poging moet als mislukt worden beschouwd. De lage waarden van $\delta^{13}\text{C}$ – tussen $-18,85$ en $-19,9\%$ – wijzen namelijk niet op een groot aandeel zeevis in het menu, terwijl de verouderingen van 200 à 400 jaren alleen maar te verklaren zouden zijn met een zeer aanzienlijke zeevisconsumptie. Op grond van de kerkelijke voorschriften zullen de leden van de grafelijke familie veel vis genuttigd hebben. Het is denkbaar dat 40 - 50% van de dierlijke proteïnen afkomstig was van vis. Maar, anders dan Dijkstra en Vogel willen zal een flink deel van die vis uit de Hollandse rivieren, meren en plassen afkomstig zijn geweest. Een dergelijk voedselpatroon leidt wel tot aanzienlijke reservoir effecten, maar niet tot extreem hoge waarden van $\delta^{13}\text{C}$. Met behulp van de in tabel 3 genoemde gemiddelde waarden van $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ en reservoir effecten kunnen simpele berekeningen worden uitgevoerd. Zo zou een dieet dat 30% van de proteïnen uit plantaardig C-3-voedsel krijgt, 30% uit vlees, 20% uit zeevis en 20% uit zoetwatervis (half rivier-, half meervis) volgens een lineair mengmodel waarden van $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ van $-18,9$ en $+10,7\%$ opleveren, met een reservoir effect van 280 à 480 jaren. Dankzij Ambrose & Norr (1993) is duidelijk dat in werkelijkheid de percentages lager zullen zijn geweest. Dus een allerm minst onwaarschijnlijk lijkend dieet is voldoende om getallen van $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ en reservoir effect te produceren, die overeenkomen met de gemeten waarden (zie 4.2.2).

De anonieme abdis of non (skelet Nr. 174) uit de kloosteromgeving van Rijnsburg sluit overigens goed aan bij de leden van de grafelijke familie. De grafelijke familie van Holland behoorde uiteraard tot de bovenlaag van de maatschappij, die zich ook zoetwatervis kon veroorloven. De onderlaag zal zich mogelijk met goedkope zeevis als haring tevreden hebben moeten stellen, of at misschien nauwelijks vis. Helaas zijn geen historische dateerbare skeletten van deze laag van de bevolking beschikbaar. Waarschijnlijk behoren de beide skeletten die in 1989 aan de Waterstraat in Zutphen werden opgegraven (Groothedde, 1990), tot de lagere klassen. Deze skeletten maken namelijk de indruk min of meer 'gedumpt' te zijn in een greppel, mogelijk niet eens op een reguliere begraafplaats, en kennelijk zonder grafkisten. Beide skeletten werden gedateerd: 1320 ± 35 BP (GrN-17043), respectievelijk 1310 ± 35 BP (GrN-17044). De waarden van $\delta^{13}\text{C}$ waren $-19,64$ respectievelijk $-18,05\%$. Groothedde zag deze dateringen als aanwijzing voor 7e-eeuwse bewoning in Zutphen. Met name de waarde van $-18,05\%$ zou echter als een aanwijzing voor zeevisconsumptie kunnen worden opgevat, waardoor ook een reservoir effect aanwezig moet zijn. Bij het betreffende skelet werden ook de verschillende beenderen van de rechtersvoet van een klein rund (schofthoogte max. 1 m) gevonden. Deze beenderen moeten in anatomisch verband in de grond zijn geko-

men en zijn kennelijk gelijktijdig met het menselijke skelet begraven. Waarschijnlijk zat de ondervoet nog vast aan de koeiehuide waarin het lichaam van de dode was gewikkeld of ter grave gedragen. De runderbeenderen werden ter beschikking gesteld voor ^{14}C -datering, om een indruk te krijgen van eventuele veroudering in de ^{14}C -datering van het menselijke skelet. Het resultaat was 1255 ± 25 BP (GrN-21230), met $\delta^{13}\text{C} = -21,7\%$. Het verschil van de beide dateringen bedraagt 55 ± 43 jaren en is dus niet significant. Gezien de ouderdom van het graf (8e/9e eeuw, op basis van de koeiepoot), die consumptie van zeevis in deze plaats in het binnenland onwaarschijnlijk maakt, en het ontbreken van een reservoir-effect, blijven twee verklaringen mogelijk. Of de gemeten waarde van $-18,05\%$ voor $\delta^{13}\text{C}$ in het menselijk botcollageen is fout, of de betrokken persoon dankt deze waarde aan de consumptie van C-4-voedsel, met name gierst. Over verbouw en consumptie van gierst in de vroege middeleeuwen is weinig bekend, maar dat sluit niet uit dat het een voedselgewas van enige betekenis was. Een aandeel van 20-25% gierst in een overigens vleesarm dieet zou voldoende zijn om de gemeten $\delta^{13}\text{C}$ te veroorzaken, aannemende dat in dit geval wel een lineair mengmodel gebruikt kan worden.

Overigens kan nog gewezen worden op de datering van een vrouwelijk skelet in de aarden wal van het vroegmiddeleeuwse Domburg (van Heeringen, 1993). Op grond van dateringen aan hout uit de versterking en een dendrodatering van hergebruikt hout vooreen tweede begraving in de wal, werd de wal waarschijnlijk in het 3e of 4e kwart van de 9e eeuw opgeworpen; in ^{14}C -jaren ca. 1180 BP. Het skelet werd gedateerd op 1250 ± 20 BP (GrN-19508, $\delta^{13}\text{C} = -20,29\%$), hetgeen opeen reservoir-effect van 50 à 100 ^{14}C -jaren zou kunnen wijzen.

Van de vijf gedateerde heiligen sluiten Gerlach, Mengoldus en Adelbert met verouderingen van 240 ± 30 , 210 ± 70 respectievelijk 170 ± 55 ^{14}C -jaren direct aan bij de grafelijke familie. Alle drie moeten een behoorlijk aandeel vis in hun dieet hebben gehad. De waarden van $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ in het botcollageen van Gerlach, $-19,6$ respectievelijk $+11,0\%$, wijzen op consumptie van zowel zee- als riviervis. De waarde van $\delta^{13}\text{C}$ van $-21,35\%$ in het botcollageen van Adelbert wijst eerder op consumptie van zoetwatervis. Rombout van Mechelen uit de late 8e eeuw heeft waarschijnlijk een reservoir-effect, maar de geconstateerde veroudering van 145 ± 50 ^{14}C -jaren is niet significant. Bij de 6-eeuwse Domitianus is geen veroudering aanwezig. Kennelijk heeft hij niet of nauwelijks vis gegeten. De reden zou kunnen zijn dat in de eeuw waarin hij leefde de vastenregels van de kerk wat anders werden geïnterpreteerd en dat op vleesloze dagen werkelijk gevast werd. Een aanwijzing daarvoor is misschien ook te distilleren uit de ^{14}C -datering van Martinus van Tongeren (GrN-4211 1550 ± 50 BP, foutief gepubliceerd in *Radiocarbon* 14, 1972: pp. 100-101, als 1530 ± 50 ; $\delta^{13}\text{C} = -19,0\%$), wiens relieken in de Sint-Servaaskerk in Maastricht worden bewaard. Over Martinus is histo-

risch niets bekend (de la Haye, 1992), maar het is aannemelijk dat hij ooit bisschop van Maastricht is geweest. Aangezien de lijst van 6e- en 7e-eeuwse bisschoppen van Maastricht vrij goed bekend lijkt, zou hij eigenlijk alleen maar in de 2e helft van de 5e eeuw, of rond 500 AD kunnen worden geplaatst (de la Haye, 1994). Nu wil het toeval dat de jaarrijngijcurve tussen 450 en 530 AD een plateau heeft met een ^{14}C -ouderdom van ca. 1560 BP. Dus hoewel de historische sterfdatum van Martinus slechts bij benadering lijkt te kunnen worden geschat, zou zijn veroudering wel precies bekend zijn, namelijk ca. 10 ± 50 ^{14}C -jaren!

Er is echter enige voorzichtigheid op zijn plaats. Inderdaad is het niet waarschijnlijk dat Martinus vóór de 2e helft van de 5e eeuw gedateerd kan worden. Het is echter de vraag of hij niet ruim na 500 gedateerd zou kunnen worden. De datering rond 500 van De la Haye is namelijk gebaseerd op de gecalibreerde ^{14}C -ouderdom. Op grond van de waarde van $-19,0\%$ van $\delta^{13}\text{C}$ in het botcollageen zou aan een reservoir-effect, veroorzaakt door de consumptie van zeevis, gedacht kunnen worden. En dat zou Martinus in de late 6e of 7e eeuw kunnen plaatsen. Maar die veronderstelling is onwaarschijnlijk, omdat in Romeinse tijd en vroege middeleeuwen zeevis voornamelijk langs de kusten verhandeld werd (Brinkhuizen, 1979; van Neer & Ervynck, 1993). Daarom moet in het geval van Martinus gedacht worden aan de mogelijkheid dat de waarde voor $\delta^{13}\text{C}$ veroorzaakt is door consumptie van gierst, een C-4-plant. Dan is uiteraard geen reservoir-effect aanwezig.

Tenslotte verdienen Londen-1782 en Deventer-1795 nog de aandacht. In het eerste geval is zo goed als zeker een reservoir-effect aanwezig: de waarde van $\delta^{13}\text{C}$ van $-18,9\%$ kan als een indicatie voor de consumptie van zeevis worden opgevat. Bij Deventer is mogelijk geen reservoir-effect aanwezig (zie 4.1); in dat geval zou de waarde van $\delta^{13}\text{C}$ van $-18,2\%$ kunnen wijzen op een belangrijk aandeel gierst in de voeding.

Van de groep van 46 (post-)middeleeuwse skeletten in fig. 5c kan dus maar in enkele gevallen met zekerheid of grote waarschijnlijkheid worden vastgesteld, dat reservoir-effecten aanwezig zijn. De verschuiving van de gemiddelde waarde van $\delta^{13}\text{C}$ met bijna $1,5\%$ van $-21,20\%$ in dierlijk botcollageen naar $-19,73\%$ kan echter alleen maar verklaard worden door aan te nemen dat zeevis een belangrijk deel van het menu vormde. En dat is automatisch gepaard gegaan met veroudering van de ^{14}C -leeftijden als gevolg van reservoir-effecten. In een klein aantal gevallen kan bovendien worden vastgesteld dat naast zeevis ook zoetwatervis gegeten moet zijn, en wel op zo'n schaal dat de verschuiving van $\delta^{13}\text{C}$ naar minder negatieve waarden werd tegengegaan. Dit proces is met name bij de leden van de grafelijke familie van Holland te zien, maar kan uiteraard ook bij andere skeletten aanwezig zijn. Consumptie van zoetwatervis resulteert overigens in nog grotere afwijkingen in de ^{14}C -ouderdommen.

Van belang is bovendien dat ook bij het middel-

eeuwse (en jongere) menselijke bot uit Ierland een aanzienlijke verschuiving van de gemiddelde waarde van $\delta^{13}\text{C}$ is te zien; van $-21,74\%$ in dierlijk bot naar $-20,20\%$ (fig. 6c). Het verschil van de gemiddelde waarde voor prehistorische en middeleeuwse populaties is ca. $1,2\%$. Opvallend zijn de negatieve waarden van $\delta^{13}\text{C}$ in beenderen uit Clonmacnoise, die wijzen op speciale voedingsvoorschriften voor de bewoners van deze kloosternederzetting. De gemiddelde waarde van $\delta^{13}\text{C}$ in deze kleine subgroep ($N=8$) is $-21,22\%$, de standaarddeviatie is $\pm 0,30\%$. Voor de resterende 43 bepalingen zijn deze getallen $-20,03$, resp. $0,69\%$. Uit Ierland zijn geen dateringen aan historisch bekende personen bekend.

4.3.4. $\delta^{13}\text{C}$ in botcollageen van mesolithische populaties

Tot dusverre zijn dateringen aan mesolithisch menselijk bot buiten beschouwing gelaten, om de simpele reden dat die niet of nauwelijks bekend zijn in Nederland en slechts in twee gevallen in Ierland. Het betreft dateringen van twee beenderen (van verschillende individuen) uit Killuragh Cave, Co. Limerick, met dateringen van 7880 ± 60 , resp. 8030 ± 60 BP, en $\delta^{13}\text{C}$ -waarden van $-19,95$, resp. $-20,86\%$. Deze waarden wijzen waarschijnlijk op een vleesrijk C-3 dieet, hoewel een mariene component niet helemaal uitgesloten kan worden.

Op verschillende plaatsen in Europa vestigden mesolithische populaties zich langs de kusten, waar zij zich toedeed op de exploitatie van mariene voedselbronnen. Dat is onder andere beschreven voor Denemarken (Tauber, 1983), Noorwegen (Johansen, Gulliksen & Nydal, 1986), Portugal (Lubell et al., 1994), terwijl er aanwijzingen zijn dat een dergelijke afhankelijkheid van marien voedsel ook al in het vroege mesolithicum in Engeland voorkwam (Clutton-Brock & Noe-Nygaard, 1990). Deze nadruk op marien voedsel is uiteraard gemakkelijk aantoonbaar met behulp van $\delta^{13}\text{C}$ in botcollageen. In het mesolithicum speelt C-4-voedsel immers geen rol van betekenis. Merkwaaardig genoeg hebben verschillende onderzoekers die zich met stabiele isotopen in botcollageen van mesolithische populaties bezighielden geen rekening gehouden met het mariene reservoir-effect. Zo lijkten Clutton-Brock & Noe-Nygaard (1990) zich er niet van bewust te zijn dat de ^{14}C -datering van de hond van Seamer Carr enkele honderden jaren te oud is vanwege de grote hoeveelheden marien voedsel die het beest gegeten heeft. Maar nog curieuzer is dat zelfs Tauber (1983) dit mariene reservoir-effect negeert bij de dateringen van laatmesolithische skeletten in Denemarken, terwijl hij eerder dit effect wel had beschreven bij arctische dieren en mensen met een marien dieet (Tauber, 1979). Volgens Tauber (1983) waren laatmesolithische populaties in Denemarken sterk afhankelijk van marien voedsel, wat leidde tot waarden van $\delta^{13}\text{C}$ in botcollageen tussen $-15,7$

en $-11,4\%$. Met het eerste optreden van de vroegneolithische Trechterbekercultuur verdween deze afhankelijkheid. In botcollageen van vroegneolithische mensen werden waarden van $\delta^{13}\text{C}$ tussen $-18,1$ en $-22,9\%$ gemeten. De overgang mesolithicum-vroeg-neolithicum in Denemarken lijkt dus bovendien zeer goed gedefinieerd te zijn in termen van ^{14}C -ouderdom (Tauber, 1983: fig. 1). Dat is echter het gevolg van het negeren van het mariene reservoir-effect in de ^{14}C -leeftijden van mesolithische skeletten. Dat kan het beste worden aangetoond met de dateringen van de beide graven van Dragsholm, die in Taubers figuur aan weerszijden van de mesolithisch-neolithische overgang liggen.

Bij Dragsholm op NW-Sjaelland werden twee graven ontdekt op slechts 2 m van elkaar, op de helling van een laag heuveltje (Brinch Petersen, 1974). In graf I waren twee vrouwen begraven (ca. 18, respectievelijk 40-50 jaar oud), bestrooid met oker en voorzien van typisch laatmesolithische grafgiften als een versierde benen dolk en een ketting van doorboorde dieretanden, voornamelijk afkomstig van edelhert. In graf II was een man begraven (ca. 20 jaar oud), die als grafgiften een doorboorde stenen hamer, transversale pijlpunten, een trechterbeker van het type A en barnstenen kralen had meegekregen, dus typische vroegneolithische voorwerpen. Uit graf I werden twee monsters been gedateerd: 5160 ± 100 BP (K-2224), $\delta^{13}\text{C} = -11,4\%$, respectievelijk 5720 ± 100 BP (K-2225), $\delta^{13}\text{C} = -12,1\%$. K-2225 werd gemeten aan bot dat met een conserverende olie was behandeld tijdens de opgraving. Kennelijk liet deze olie zich niet meer verwijderen: de datering moet als onbetrouwbaar worden beschouwd. Uit graf II werd één monster been gedateerd op 4840 ± 100 (K-2291), $\delta^{13}\text{C} = -21,7\%$.

De vrouw uit graf I, met datering K-2224, moet gezien haar zeer hoge waarde van $\delta^{13}\text{C}$ een grotendeels marien dieet hebben gehad. In dit gedeelte van het Kattegat zal dat tot een veroudering als gevolg van marien reservoir-effect van ca. 300-350 jaren hebben geleid (zie Olsson, 1980). De werkelijke ^{14}C -ouderdom van graf I ligt dus rond 4800-4850 (± 100) BP. De man uit graf II heeft gezien zijn waarde van $\delta^{13}\text{C}$ een puur terrestrisch C-3-dieet gehad. Zijn ^{14}C -ouderdom hoeft dus niet gecorrigeerd te worden. Daarmee verandert het beeld dus drastisch: in plaats van twee graven die in de tijd duidelijk gescheiden zijn, en die gezien de grafgiften ook weinig met elkaar van doen hebben, hebben we nu twee graven die qua ^{14}C -ouderdom vergelijkbaar zijn en die mogelijk niet toevallig vlak naast elkaar liggen! Voorzichtigheid blijft echter op zijn plaats: gezien de grote standaarddeviaties mag niet zonder meer tot gelijktijdigheid worden besloten. Het is niet uitgesloten dat de werkelijke ^{14}C -ouderdommen 100 à 200 jaren uiteen liggen. Maar het is eveneens mogelijk dat graf II in feite ouder is dan graf I. In plaats van een fraaie en abrupte overgang van mesolithicum naar neolithicum, zoals Tauber (1983: fig. 1) suggereert, zou zelfs een overlap van beide perioden aanwezig kunnen

zijn! Overigens zal in enkele nieuwe publikaties wel aandacht worden besteed aan verouderingen ten gevolge van mariene reservoir effecten bij mesolithisch populaties in Zuid-Scandinavië (Meiklejohn, Brinch Petersen & Alexandersen, in druk a en b).

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Op basis van de in dit artikel beschreven ^{14}C -dateringen en bijbehorende metingen aan stabiele isotopen kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- ^{14}C -dateringen aan menselijk bot kunnen te oud zijn als gevolg van de consumptie van vis, en daaruit resulterende reservoir effecten. Met name zoetwatervis kan aanzienlijke verouderingen opleveren;

- ^{14}C -ouderdomsbepalingen aan menselijk bot uit prehistorie en Romeinse tijd in Nederland lijken evenwel in meerderheid betrouwbaar te zijn. Eventuele verouderingen als gevolg van visconsumptie zijn zo klein, dat de dateringen niet afwijken van de hout/houtskooldateringen waarop de ^{14}C -chronologie berust. Toch zijn enkele gevallen van significante veroudering als gevolg van consumptie van riviervis (Swifterbant, S-2) of zeevis (Valkenburg Z.H.) bekend. Ook in Ierland lijken ^{14}C -dateringen aan prehistorisch menselijk been betrouwbaar te zijn. Een Brits onderzoek, gebruik makend van $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ in prehistorisch menselijk botcollageen, laat zien dat inderdaad plaatselijk met consumptie van aanzienlijke hoeveelheden zoetwatervis, of van zeevis gerekend moet worden. Bij neolithische/eneolithische populaties aan de Dnieper in de Oekraïne zijn duidelijke verouderingen in de ^{14}C -leeftijden aanwezig, als gevolg van consumptie van riviervis en -mosselen;

- ^{14}C -ouderdomsbepalingen aan middeleeuwse en post-middeleeuwse menselijke skeletten in Nederland vallen in de regel te oud uit door reservoir effecten. Ouderdomsbepaling met behulp van de ^{14}C -methode aan dit materiaal is dus weinig zinvol. Datering heeft alleen zin in het kader van *paleo-diet studies* als ook historische leeftijden bekend zijn, en verouderingen als gevolg van reservoir effecten bepaald kunnen worden. Deze verouderingen leveren extra informatie met betrekking tot het genuttigde voedsel op. Dat wil natuurlijk niet zeggen dat elke ^{14}C -datering aan middeleeuws menselijk bot een onjuiste ouderdom oplevert. Voor vroegmiddeleeuws materiaal lijkt de situatie iets gunstiger indien Domitianus en Martinus van Tongeren als kenmerkend voor deze periode kunnen worden beschouwd.

Ook vegetariërs uit latere eeuwen zullen betrouwbare ^{14}C -dateringen opleveren, maar deze kunnen alleen met behulp van $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ worden geïdentificeerd.

In Ierland is dezelfde opvallende verschuiving van de gemiddelde waarde van $\delta^{13}\text{C}$ te zien, van $-21,74\text{‰}$ in dierlijk botcollageen naar $-20,03\text{‰}$ in middeleeuws

menselijke botcollageen. Aangezien het hier ook om een christelijke populatie gaat, onderworpen aan dezelfde kerkelijke voorschriften, zal consumptie van zeevis als de belangrijkste reden voor deze verschuiving moeten worden beschouwd. Historische dateringen zijn niet bekend bij deze Ierse groep; over reservoir effecten kan dus geen uitspraak worden gedaan. Maar in feite geldt voor dit middeleeuwse Ierse materiaal hetzelfde als voor het Nederlandse: de ^{14}C -dateringen zullen ongetwijfeld te oud zijn, en datering van middeleeuws menselijk bot moet afgeraden worden indien het doel het verkrijgen van een nauwkeurige ouderdomsbepaling is. Verwacht mag worden dat wat voor middeleeuws Nederland en Ierland geldt, ook van toepassing is op andere gebieden in middeleeuws Europa.

Een systematischer aanpak van het probleem van de verouderingen als gevolg van reservoir effecten en van de betrouwbaarheid van ^{14}C -ouderdomsbepalingen aan menselijk bot is noodzakelijk.

Om te beginnen is het eigenlijk nodig dat ^{14}C -laboratoria naast $\delta^{13}\text{C}$ ook $\delta^{15}\text{N}$ in menselijk botcollageen bepalen. Dat zou een aanzienlijk beter beeld geven van het voedsel dat de betreffende mensen hebben genuttigd. Om dezelfde reden is het wenselijk dat $\delta^{13}\text{C}$ van de carbonaatfractie van het menselijke botapatieet wordt bepaald. Of een en ander is te realiseren is niet bekend, maar het dateren van meer middeleeuws menselijk bot is zinloos indien niet tevens een poging wordt gedaan om te bepalen hoe betrouwbaar die dateringen eigenlijk zijn.

Vervolgens is het wenselijk dat van meer historisch gedateerd menselijk skeletmateriaal de ^{14}C -ouderdom wordt bepaald. De eventuele verouderingen als gevolg van reservoir effecten leveren namelijk extra informatie op met betrekking tot het genuttigde voedsel. Uiteraard moeten gelijktijdig ook $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ worden gemeten. Daarbij moet geprobeerd worden ook de sociale onderlaag van de maatschappij gedateerd te krijgen, omdat verwacht mag worden dat die andere consumptiepatronen kende dan de hogere klassen. Vlees en zoetwatervis hebben voor de armen waarschijnlijk nauwelijks een rol van betekenis gespeeld. Het begrip 'historisch dateerbaar' moet overigens ruim worden opgevat. Daar kan ook skeletmateriaal toe worden gerekend dat in context met een scherpe ^{14}C -datering is gevonden. Ook dan kan namelijk veroudering ten gevolge van reservoir effecten worden berekend. Daarbij kan gedacht worden aan 'los' skeletmateriaal uit nederzettingen. Met name in prehistorische nederzettingen blijkt dit regelmatig voor te komen (zie Runia, 1987; Meiklejohn & Constandse-Westermann, 1978; Louwe Kooijmans, 1985: p. 102).

Daarnaast zal meer aandacht moeten worden besteed aan reservoir effecten in stromend en stilstaand zoet water. Dat kan op twee manieren gebeuren:

- a. Bepaling van schijnbare ouderdommen van vlees en botcollageen van recente vissen uit verschillende rivieren, meren en plassen;

b. Bepaling van ^{14}C -ouderdommen van collageen in botten van zoetwatervis in goed gedateerde prehistorische en vroeghistorische nederzettingen of nederzetting-slagen. Daarbij is van belang dat de biotopen van de betreffende vissen gereconstrueerd kunnen worden.

Tenslotte is het nodig dat meer onderzoek wordt verricht aan fractionering van stabiele koolstof- en stikstofisotopen in vlees van zoetwatervis en -mosselen, in botcollageen van zoetwatervis en schelpen van zoetwatermosselen, waarbij opnieuw onderscheid moet worden gemaakt tussen stromend en stagnerend zoet water. Dit onderzoek is nodig om een beter inzicht te krijgen in de invloed van consumptie van zoetwatervoedsel op $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ in menselijk botcollageen.

6. DANKBETUIGINGEN

Van de velen die hebben bijgedragen tot de totstandkoming van dit artikel willen we enkelen met name noemen:

– Harm-Jan Streurman, die al jaren geleden uit pure belangstelling is begonnen met isotopenonderzoek aan water, vis en mosselen, en die zijn resultaten belangeloos ter beschikking stelde;

– Lex Runia, van wiens $\delta^{13}\text{C}$ -bepalingen in botcollageen wij dankbaar gebruik hebben gemaakt;

– Gerry McCormac, die ons de $\delta^{13}\text{C}$ -bepalingen in botcollageen verricht in Belfast ter beschikking stelde, hoewel wij van zijn gegevens uiteindelijk geen gebruik hebben gemaakt;

– Dr. B.K.S. Dijkstra, voor zijn kritische op- en aanmerkingen betreffende de identificaties en dateringen van skeletten uit Rijnsburg en Egmond;

– Prof.dr. E.H.P. Cordfunke, voor zijn op- en aanmerkingen betreffende de dateringen van Floris I en St. Adelbert;

– Rupert Housley en John Vogel, voor hun toelichtingen bij de datering van de relieken van St. Adelbert in Oxford;

– R. de la Haye, die ons attent maakte op de dateringen in Leuven van de relieken van Domitianus en Mengoldus uit Hoey.

7. SUMMARY

What do Count Florence V, skeleton Swifterbant S2 and otters have in common?

Introduction

At present bone is considered to be an excellent material for radiocarbon dating. In the late 50's and early 60's bone was seen as a rather problematic material, however. This was not only due to the lack of a standard pretreatment, and the fact that sometimes carbonate was

dated instead of collagen, but in the Netherlands also because the radiocarbon dates of some historically known personalities—Count Florence V of Holland and relatives—were several hundreds of years too old, even without corrections for isotopic fractionation and calibration. The differences—up to 400 ^{14}C -years—were too large to be explained by marine reservoir effect only, but other explanations were lacking.

Reservoir effects are caused by consumption of non-terrestrial food and can be traced by stable isotope research ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$). Paleo-diet studies have been carried out only on a minor scale in the Netherlands: Runia (1987) studied prehistoric populations in West-Friesland, but was not able to measure $\delta^{15}\text{N}$, van Klínken (1991) studied prehistoric populations in the Caribbean. At the moment no facilities for paleo-diet studies are available.

Radiocarbon dating and reservoir effects

The conventions on which radiocarbon dating is based are well-known. It should be stressed that these conventions deal with terrestrial material, in equilibrium with atmospheric $^{14}\text{CO}_2$. The 'recent activity' of 100% is the ^{14}C activity of wood of 1950 AD, the correction for isotopic fractionation to -25‰ is based on the $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ratio in wood, as well. In terrestrial material depletion or enrichment in ^{14}C is only due to isotopic fractionation.

In fig. 1 the inorganic carbon cycle is shown schematically. In each reservoir the value of $\delta^{13}\text{C}$ in ‰ is indicated in the lower left-hand corner, the ^{14}C -activity in % in the lower right-hand corner. In the inorganic carbon cycle so called reservoir effects can be present: apparent ages of datable materials, created by the absence of equilibrium with atmospheric $^{14}\text{CO}_2$.

In ocean water $\delta^{13}\text{C}$ of dissolved inorganic carbon is +1‰. Equilibrium with the atmosphere would imply a ^{14}C -activity of c. 105.2% (a difference of 26‰ in ^{13}C means a difference of 52‰ or 5.2% in ^{14}C). In ocean surface water and deep water should be differentiated. Rapid exchange of CO_2 , and thus of $^{14}\text{CO}_2$, exists only between surface water and atmosphere. Exchange between surface water and deep water is very slow. The amount of deep water is considerably larger than that of surface water. Together with the slow exchange this results in a much lower ^{14}C -activity in deep water than in surface water. Due to welling up of deep water the surface water contains less than the expected 105% ^{14}C . In the northern Atlantic Ocean and in the North Sea the ^{14}C -activity is c. 100%. This difference of c. 5% corresponds with c. 400 ^{14}C -years. When dating marine samples according to the conventions correction for this reservoir effect has to be applied, by subtracting 400 years of the radiocarbon age BP. The marine reservoir effect is not only present in marine creatures, but also proportionally in animals and humans that live partly on marine food.

With fresh water, difference should be made between running and stagnant water. Running water in the

Netherlands, i.e. river water, consists largely of groundwater, although even in the rivers Rhine, Waal and IJssel a meltwater component is noticeable. Percolating rainwater dissolves CO₂ in the root zone of the vegetation layer. This CO₂ has a 'recent' ¹⁴C-activity, its δ¹³C is c. -25‰. In the deeper subsoil exchange takes place between this dissolved CO₂ and fossil marine carbonate, with no ¹⁴C-activity and δ¹³C = +1‰, until an equilibrium is reached in which CO₂ in groundwater has only half the 'recent' ¹⁴C activity and δ¹³C is c. -12‰. Dissolving of extra CO₂ and exchange processes in the unsaturated zone result in values as indicated in fig. 1. Due to exchange with atmospheric CO₂, and to mixing with other types of water, river water usually has smaller reservoir effects downstream.

Stagnant water, i.e. lake or canal water, can regain 'recent activity', due to exchange with atmospheric CO₂. In reality most lake and canal waters show reservoir effects, probably partly due to seepage of groundwater, but largely to CO₂ originating from organic sediments (see also Olsson, 1983). In table 1 apparent ages of flesh of freshwater mussels and fish and of carbonate in shells of freshwater mussels are shown. Very large 'reservoir effects' are found in the upper streams of small rivers in the northern Netherlands and in canals in the NO-Polder. But even in the rivers Waal and Maas reservoir effects of c. 2000 years are present. The reservoir effects in the IJsselmeer are surprisingly large.

It is clear that consumption of freshwater fish can result in radiocarbon ages of the consumers that are considerably too old.

The fractionation of ¹³C in food chains

In terrestrial food chains the fractionation of ¹³C is well studied. The model by Lee Thorp et al. (1989) is based on the assumption that proteins in tissues of the consumer are derived from proteins in the food, and carbonate in bone apatite is derived from blood CO₂ and ultimately from all energy supplying components in the diet, including excess protein. The carbonate fraction therefore reflects the mean isotopic composition of the whole diet.

In a series of experiments Ambrose & Norr (1993) showed that values of δ¹³C in bone collagen of rats depend not only on the values of δ¹³C of the protein fraction in the food, but also on the amount of protein, and on the difference in δ¹³C values of protein and non-protein fractions. They concluded that δ¹³C values in bone collagen overestimate the amount of protein in the food, especially when this contains small amounts of protein. The explanation is that proteins are used in the first place to produce tissues like collagen, and are only used as energy suppliers in case of excess. The same applies undoubtedly to humans, as well.

This means that linear mixing models, using values of δ¹³C in bone collagen of the consumer, and in the different components of the diet, cannot be used in

paleo diet studies. On the other hand, δ¹³C in carbonate in bone apatite reflects whole diet composition with such fidelity that it should be routinely analyzed along with δ¹³C in bone collagen.

In NW-Europe all major food crops belong to the C-3 plants, with values of δ¹³C in the order of -26 ± 1‰. Millet and maize are the exceptions. They belong to the C-4 plants, with δ¹³C = -12 ± 1‰. Millet has been grown in Central Europe since the Early Neolithic, although apparently always in small quantities; maize was of no importance before the 20th century.

Recently van Klinken et al. (1994) showed that the mean values of δ¹³C in wood and charcoal show a geographical trend, with the lowest values in NW Europe. This trend is probably related to climatic differences. They see the same trend in the mean values of δ¹³C in bone collagen. These means are, however, based on both animal and human bone collagen which is methodically incorrect.

In fig. 5 the values of δ¹³C in bone collagen in the Netherlands are shown, divided into 3 groups: animal, human-prehistoric and human-medieval. The animals are almost exclusively C-3 herbivores. Means and standard deviations are as follows:

Animal N=139	-21.20 ± 0.58‰
Human/prehistoric N=81	-20.66 ± 0.86‰
Human/medieval N=44	-19.73 ± 0.73‰

All δ¹³C's were determined in Groningen, as a rule for dating purposes. A large part of the prehistoric humans were not dated, however, but only studied by Runia in the context of his paleo-diet work.

In Groningen large numbers of bone samples from Ireland have been dated during the past years, which allows a comparison (fig. 6):

Animal N=39	-21.74 ± 0.57‰
Human/prehistoric N=61	-21.46 ± 0.46‰
Human/medieval N=51	-20.20 ± 0.78‰

With the animals the predicted geographic trend is clearly present. The shifts between animals and the two groups of humans in both areas can only be explained in terms of diet, changes in diet, and the influence of non C-3 food.

The fractionation of ¹³C in the marine food chain is relatively well-known. Humans who live largely or exclusively on marine food show δ¹³C-values in their bone collagen of -13 ± 1‰.

The fractionation of ¹³C in freshwater food chains is less well-known. Again, a difference should be made between running and stagnant water. Table 2 shows the values of δ¹³C in the 'flesh' (not defatted) of freshwater mussels and fish in the Netherlands. According to Katzenberg et al. (1995, p. 344) fish flesh should be 2-4‰ more negative than bone collagen. In the Heegermeer perch pike the difference is in fact 1.5‰. In the IJsselmeer perch pikes collagen has more negative values than flesh, which might be due to a change in biotopes.

It is likely that, at the end of freshwater food chains, values of $\delta^{13}\text{C}$ in bone collagen of -24‰ in lowland rivers and -20‰ in lakes and canals can be expected. It might be possible to check this in bone collagen of otters, provided their biotopes are well-defined.

Reservoir effects in human bone collagen

Consumption of fish, whether marine or freshwater, causes reservoir effects in human bone collagen. It is possible to get an impression of the mean diet over the last 10 years of a human being by checking $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in his bone collagen. Unfortunately radiocarbon laboratories only measure $\delta^{13}\text{C}$ routinely. With $\delta^{13}\text{C}$ alone it is not possible to decide whether less negative values are caused by consumption of marine fish or of C-4 food, or whether values around -21‰ are the result of an almost vegetarian diet or of consumption of terrestrial meat and freshwater fish, or of a mixture of marine and freshwater fish. Undoubtedly the same is true for $\delta^{15}\text{N}$ as is the case for $\delta^{13}\text{C}$, namely that its values overestimate the amount of protein in the food, when using a linear mixing model, especially when this food contains only small amounts of proteins.

With $\delta^{15}\text{N}$ as an extra tool, one can be more precise because $\delta^{15}\text{N}$ is far more positive in fish than in terrestrial food. In some cases it is possible, however, to decide whether radiocarbon dated human bone has a reservoir effect or not, namely when the date of decease of the person in question is known. In the Belfast calibration curve of 1986 the radiocarbon age belonging to the year of decease (minus 10 years, to correct for the long turnover time of bone collagen) can be found. This expected radiocarbon age only makes sense when the person in question lived exclusively on terrestrial food. The difference between 'observed' and 'expected' radiocarbon age is compared with the standard deviation of the observed age. Where the difference is larger than 3x the standard deviation it is reported to be significant and due to reservoir effect. But it should be born in mind, that according to counting statistics differences smaller than 3x the standard deviation can still indicate real reservoir effects.

In chapters 4.2.2 to 4.2.8 radiocarbon ages of bone collagen of historically known or precisely datable human remains from NW-Europe are described. The results are shown in tables 4-6. In 4.2.9 the radiocarbon ages of some historically datable animal bones are given (table 7).

It is clear that in some cases, especially with the 11th-13th century Counts of Holland large reservoir effects, up to 400 years, are present. In chapter 4.3 the observations are analyzed. The reference material is animal bone. The graphs of $\delta^{13}\text{C}$ in Dutch and Irish animal bone collagen can be considered to be typical of a purely vegetarian C-3 diets. It is known that in extreme circumstances (modern sheep on North Ronaldsay eating seaweed, Mesolithic dogs eating seafood) animals may have totally aberrant values of $\delta^{13}\text{C}$, but in the Dutch and

Irish material these aberrant values do not occur.

In prehistoric human bone collagen from the Netherlands (including the Roman period) the shift of the mean $\delta^{13}\text{C}$ values is only slight: from -21.20‰ in animals to -20.66‰ in humans. The spread of the $\delta^{13}\text{C}$ values in human bone is, however, wider than in animal bone. At both extremes of the human curve clear cases of reservoir effect are present. The skeleton with the highest $\delta^{13}\text{C}$, -18.1‰, was found in closely datable context in the Roman fort at Valkenburg. A reservoir effect of 160 ± 40 years is present, most likely due to consumption of seafood. The skeleton with $\delta^{13}\text{C} = -22.55‰$ from Swifterbant site S-2, has a reservoir effect of 240 ± 65 ^{14}C years or more, due to consumption of freshwater fish. In general, however, prehistoric populations in the Netherlands seem to have had terrestrial diets, the slight shift caused by consumption of flesh of C-3 herbivores. The same seems to be true for Irish prehistoric people, with an even smaller shift in mean $\delta^{13}\text{C}$ values: -21.74‰ in animal, and -21.46‰ in human bone collagen. At the negative extreme of the human curve reservoir effects of c. 100 ^{14}C -years may be present in three graves from Straid, Co. Derry.

Research in Britain, using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in prehistoric human bone collagen, showed that basically three types of diets were used, which can be identified as C-3 (including flesh of C-3 herbivores), C-3, with seafood and C-3 with freshwater fish (fig. 7). Unfortunately, no bone from the sites with fish diets seems to have been ^{14}C -dated, which means that the resulting reservoir effects cannot be shown. Probably part of the aberrant dates of the British Museum beaker dating programme (Kinnes et al., 1991) can be explained by reservoir effects. Determination of $\delta^{15}\text{N}$ could solve this problem.

However, in six recently published (Hedges et al., 1955: p. 427) dates of human bone excavated in cemeteries along the R. Dnieper in the Ukraine, reservoir effects due to consumption of riverfish are clearly present. Five dates can be ascribed to phase II of the Dnieper-Donets culture, and one to phase II^a of the Srednij Stog culture. In both cultures clear evidence for reliance on riverfish, and in the case of the Dereivka settlement also river mussels, is available. According to van Klinken et al. (1994) in the Ukraine values of $\delta^{13}\text{C}$ in wood and charcoal can be expected that are slightly less negative than those in the Netherlands. Less negative values of $\delta^{13}\text{C}$ than in the Netherlands could also be expected in bone collagen of C-3 herbivores and of humans living on C-3 plants and flesh of C-3 herbivores. In the Netherlands values lower than -22‰ in prehistoric human bone collagen are exceptional, and in at least one case clearly the result of consumption of riverfish. In the Ukraine values lower than -22‰ must also be due to river food, and therefore the corresponding radiocarbon ages must be too old due to river reservoir effects.

The five dates for phase II of the Dnieper-Donets culture therefore do not indicate that this phase started 300 years earlier than previously thought (Lillie, in

Hedges et al., 1995: p. 427), but indicate a reservoir effect of 300 years (or more). The same is true for the date of phase II^a of the Srednij Stog culture. This phase can be dated to around 5000-4900 BP, as indicated by Telegin (1986: p. 107). Of the four dates for the Dereivka settlement the two on shells of rivermussels should be rejected because these shells 'suffer' from reservoir effect as well. Of the two horse bone dates, UCLA-1466A 5515 ± 90 BP should be rejected, because it is even older than the shell dates, whereas UCLA-1671A 4900 ± 100 BP appears to be correct.

In medieval (and later) human bone the shifts are much larger: in the Netherlands from -21.20‰ in animals to -19.73‰ in human bone collagen, in Ireland from -21.74 to -20.20‰. These large shifts can only be explained by increased consumption of fish, ultimately caused by dietary prescriptions by the Church, by improved infrastructures and by better methods of food preservation. In the early 13th century meat was not allowed on Wednesdays, Fridays and Saturdays, during the six weeks before Lent, and on a number of other days. Later these rules were mitigated, until finally only Fridays and the six weeks before Lent remained meatless. On the days of abstinence of meat, fish was allowed.

Already during the 12th century seafish was traded far inland. Salted or smoked herring and dried cod became cheap bulk foods. Freshwater fish was eaten as well, but it is not unlikely that due to seigniorial rights on fisheries in inland waters freshwater fish was largely eaten by the higher classes. In the Dutch medieval human group reservoir effects are quite common in the cases where they can be checked, but they are not connected with extreme values of $\delta^{13}\text{C}$. That means that they are the result of a combination of sea and freshwater fish. That is especially clear in the case of the Counts of Holland. It should be born in mind, however, that counts and saints are not representative for the whole population. Historically dated lower-class people are not represented in the sample. Two early-medieval skeletons from Zutphen-Waterstraat may belong to these lower classes. Collagen of one of these skeletons shows a $\delta^{13}\text{C}$ of -18.05‰. Cattle bone from the same grave, almost certainly buried at the same time while still connected to the hide in which the skeleton may have been wrapped, turned out to have a comparable ^{14}C -age, showing that no reservoir effect is present in the human bone collagen. The high value of $\delta^{13}\text{C}$ is therefore most likely caused by millet, although millet is not reported as a major food crop in the early medieval period. Millet may also be the origin of the $\delta^{13}\text{C}$ of -18.2‰ in the bone collagen of the 'English' soldier, buried in Deventer in 1795.

Remarkable in the Irish graph are the negative values of $\delta^{13}\text{C}$ in the Early Christian Clonmacnoise bones. These seem to indicate special dietary rules for the inhabitants of this monastic settlement. The mean value of $\delta^{13}\text{C}$ in this small subgroup (N=8) is -21.22‰, with

a standard deviation of ± 0.30‰. For the remaining 43 individuals these values are -20.03, and 0.69‰.

In 4.3.4 attention is drawn to radiocarbon dates of Mesolithic populations, especially in Denmark. So far, no attention is given to reservoir effects although these should be present according to the very high values of $\delta^{13}\text{C}$ in Danish Mesolithic human bone collagen, pointing towards consumption of large amounts of seafood. In Dragsholm the two graves, one with two Mesolithic females, the other with a Neolithic man, may in fact be contemporary.

Values of -19.95 and -20.86‰ in mesolithic human bones, excavated in Killuragh Cave, Co. Limerick, Ireland (7880 ± 60, resp. 8030 ± 60 BP) seem to indicate consumption of large amounts of meat of C-3 herbivores, although a marine component may be present.

Conclusions and recommendations

The following conclusions can be drawn:

- Radiocarbon dates of human bone may be too old due to the consumption of fish which introduces reservoir effects;
- Radiocarbon dates of prehistoric human bone in the Netherlands seem nevertheless to be reliable, with only a few cases of 'fish effect', connected with extreme values of $\delta^{13}\text{C}$. The same applies to prehistoric human bone from Ireland. A British study based on $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in prehistoric human bone collagen, showed that freshwater fish or seafish played important roles locally, but that otherwise terrestrial C-3 diets were the rule;
- Radiocarbon dates of medieval (and later) human bone in the Netherlands are likely to be too old. The large shift in the mean value of $\delta^{13}\text{C}$ clearly indicates the increased consumption of fish because of prescriptions by the church and the availability of seafish as a cheap bulk food. This increased consumption does not always show up in the values of $\delta^{13}\text{C}$: a mixture of sea and freshwater fish produces a $\delta^{13}\text{C}$ that is comparable to the one produced by a terrestrial C-3 menu. The same shift in $\delta^{13}\text{C}$ is also visible in medieval Irish populations. The same aberrant radiocarbon ages can be expected.

It is recommended that in future radiocarbon laboratories not only measure $\delta^{13}\text{C}$ in bone collagen, but in the carbonate fraction of bone apatite, too and also $\delta^{15}\text{N}$ in bone collagen when human bone is submitted for dating. Without $\delta^{15}\text{N}$, it is almost impossible to estimate the reliability of the age determination. Apart from that, it is recommended that more historically dated human bone or human bone found in well-dated prehistoric contexts should be radiocarbon dated, to get a better idea of reservoir effects.

More attention should be given to reservoir effects in fresh water, either by radiocarbon dating of flesh and bone collagen of modern fish or by radiocarbon dating of collagen in fish bone found in well-dated prehistoric contexts. Finally, more research should be carried out

regarding fractionation of ^{13}C and ^{15}N in freshwater fish and mussels.

The appendix deals with the determination of $\delta^{13}\text{C}$ in bone collagen, carried out in Groningen. The mass spectrometers used are VG Micromass 903 and SIRA 9. Recently a Europe Scientific 20-20 was used as well, but this instrument turned out to be insufficiently accurate for the purpose. For that reason 16 determinations, largely in Irish bone collagen, had to be discarded. The laboratory procedures have been described by Runia (1987: p. 154). The reproducibility was checked by multiple determination of $\delta^{13}\text{C}$ in collagen extracted from a fresh cattle bone: a mean value of -21.56% , and a standard deviation of 0.06% .

According to Schwarcz (1991: p. 268) collagen from different bones of the same skeleton shows comparable values of $\delta^{13}\text{C}$. In archaeological material, however, large differences may be seen between bones of the same skeleton. This seems to be due to the much greater absorption of humic substances by porous bones, compared with solid bone, and by differences in pretreatment.

In figs. 5 and 6 only Groningen determinations of $\delta^{13}\text{C}$ have been used (with the exception of two duplicates and one new determination carried out in Pretoria). The reason for this is that two comparable groups of prehistoric human bone from Ireland, dated in Groningen, resp. Oxford produced totally different sets of values of $\delta^{13}\text{C}$. Whereas the Groningen graph approaches in shape a Gaussian curve, the Oxford graph is very irregular in shape, and covers a much wider range (fig. 8). According to us this can only be an instrumental problem. It seems safer not to use results from other laboratories, without checking.

Finally, an account is given of the determinations not used in the figures, and of the reasons why. The number is actually very small: of the Dutch material 5 values of $\delta^{13}\text{C}$ in animal bone, 1 in prehistoric human bone and 1 in medieval human bone, of the Irish group one value of $\delta^{13}\text{C}$ in animal bone. Values of $\delta^{13}\text{C}$ in collagen extracted from antler were not used. Experience shows that these values scatter much more than those in bone collagen, almost certainly because of the greater absorption of humic substances by antler.

8. LITERATUUR

- AMBERS, J.C., 1990. Identification of the use of marine plant material as animal fodder by stable isotope ratios. *PACT* 29, pp. 251-258.
- AMBROSE, S.H. & L. NORR, 1993. Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate. In: J.B. Lambert & G. Grupe (eds.), *Prehistoric bone. Archaeology at the molecular level*. Berlin etc., Springer Verlag, pp. 1-37.
- EVERY, M., 1993. *Hillfort defences of southern Britain* (= BAR British Series 231). Oxford, 3 volumes. Especially Volume II: Appendix A. The evidence of individual sites.
- BAKELS, C.C., 1982. The settlement system of the Dutch Linearbandkeramik. *Analecta Praehistorica Leidensia* 15, pp. 31-43.
- BEHRE, K.-E., 1991. Zum Brotfund aus dem Ipweger Moor, Ldkr. Wesermarsch. *Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen* 11 91, p. 9.
- BLACK, M., 1992. *The medieval cookbook*. London, British Museum Press.
- BRANNON, N.F., B.B. WILLIAMS & J.L. WILKINSON, 1990. The salvage excavation of Bronze Age cists, Straid townland, county Londonderry. *Ulster Journal of Archaeology* 53, pp. 29-39.
- BRINCHPETERSEN, E., 1974. Gravene ved Dragsholm. Frajaegere til bønder for 6000 år siden. *Nationalmuseets Arbejdsmark*, pp. 112-120.
- BRINKHUIZEN, D.C., 1977. Preliminary notes on fish remains from archaeological sites in the Netherlands. *Palaeohistoria* 21, pp. 83-90.
- BRINKHUIZEN, D.C., 1994. Het dieet van de otter (*Lutra lutra*) in twee voormalige ottergebieden in Friesland. *Paleo-Aktueel* 5, pp. 143-147.
- CHARLIER, C. & Ph. GEORGE, 1982. Ouverture des chasses des saints Domitien et Mengold au trésor de Notre-Dame de Huy. *Annales du Cercle Hutois des Sciences et Beaux-Arts* 36 (107e année), pp. 31-75.
- CHISHOLM, B.S., D.E. NELSON & H.P. SCHWARCZ, 1983. Dietary information from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ measurements on bone collagen. *PACT* 8, pp. 391-395.
- CLASON, A.T. & D.C. BRINKHUIZEN, 1978. Swifterbant: mammals, birds, fishes (= Swifterbant contribution 8). *Helinium* 18, pp. 69-82.
- CLUTTON-BROCK, J. & N. NOE-NYGAARD, 1990. New osteological and C-isotope evidence on mesolithic dogs: comparisons to hunters and fishers at Star Carr, Seamer Carr and Kongemose. *Journal of Archaeological Science* 17, pp. 643-653.
- CORDFUNKE, E.H.P., 1987. *Gravinnen van Holland. Huwelijk en huwelijkspolitiek van de graven uit het Hollandse Huis*. Zutphen, De Walburg Pers.
- CORDFUNKE, E.H.P. & G.J.R. MAAT, 1995. Sint Adelbert en Egmond: mythe of werkelijkheid? *Holland* 27, pp. 1-8.
- DECKERS, P.H., 1979. The flint material from Swifterbant, earlier neolithic of the northern Netherlands. I. Sites S-2, S-4 and S-51 (= Final reports on Swifterbant II). *Palaeohistoria* 21, pp. 143-180.
- DYER, C., 1988. The consumption of fresh-water fish in medieval England. In: M. Aston (ed.), *Medieval fish, fisheries and fishponds in England* (= BAR British Series 182). Oxford, part 1, pp. 27-35.
- DIJKSTRA, B.K.S., 1979. *Graven en gravinnen van het Hollandse Huis*. Zutphen, De Walburg Pers.
- DIJKSTRA, B.K.S., 1991. *Een stamboom in been. Vier eeuwen graven en gravinnen van het Hollandse Huis*. Amsterdam, De Bataafsche Leeuw.
- DIJKSTRA, B.K.S., 1993. De relieken van St. Adalbert. *Oud-Alkmaar* 17 (2), pp. 10-21.
- FAIRLEY, J., 1984. *An Irish Beast Book*. Belfast, Blackstaff Press. Second, enlarged edition.
- FULDAUER, A. & J.W. BLOEMINK, 1989. Een mysterieuze begraafplaats uit de 18e eeuw. *Deventer Jaarboek*, pp. 50-64.
- GROOT, B. DE, R. DIJKEMA & F. REDANT, 1988. *Vis, schelp- en schaaldieren*. Utrecht, Spectrum.
- GROOTHEDDE, M., 1990. Zutphen in de zevende eeuw. Twee oude begravingen in de Waterstraat. *Oud-Zutphen* 9, pp. 43-50.
- HAYE, R. DE LA, 1991. Nieuws over Domitianus, bisschop van Maastricht (6e eeuw). *De Maasgouw* 110, *31-34.
- HAYE, R. DE LA, 1992. Martinus van Tongeren, een negentiende-eeuwse heilige? In: P.J.H. Ubachs et al. (eds.), *Magister artium. Onderwijs, kerk en kunst in Limburg* (= Opstellen Br. Sigismund Tagage aangeboden bij zijn zeventigste verjaardag). Sittard, Stichting Charles Beltjens, pp. 221-231.
- HAYE, R. DE LA, 1994. In welke eeuw leefde Sint Servaas? *De Maasgouw* 113, *5-28.
- HEERINGEN, R.M. VAN, 1993. Archeologische kroniek van Zee-

- land over 1992. *Archief van het Koninklijk Zeeuwisch Genootschap der Wetenschappen*, pp. 185-216.
- HEIER NIELSEN, S., J. HEINEMEIER & N. RUD, 1994. High marine reservoir ages for Danish fjords compared to open water. *13th International Radiocarbon Conference Glasgow 1994, Book of Abstracts*, CE-37.
- KATZENBERG, M.A., 1989. Stable isotope analysis of archaeological faunal remains from southern Ontario. *Journal of Archaeological Science* 16, pp. 319-329.
- KATZENBERG, M.A., H.P. SCHWARCZ, M. KNYF & F.J. MELBYE, 1995. Stable isotope evidence for maize horticulture and paleodiet in southern Ontario, Canada. *American Antiquity* 60, pp. 335-350.
- KINNES, I., A. GIBSON, J. AMBERS, S. BOWMAN, M. LEESE & R. BOAST, 1991. Radiocarbon dating and British Beakers: the British Museum programme. *Scottish Archaeological Review* 8, pp. 35-68.
- KLINKEN, G.J. VAN, 1991. *Dating and dietary reconstruction by isotopic analysis of amino acids in fossil bone collagen – with special reference to the Caribbean*. Dissertatie Groningen.
- KLINKEN, G.J. VAN, H. VAN DER PLICHT & R.E.M. HEDGES, 1994. Bone $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios reflect (palaeo-)climatic variations. *Geophysical Research Letters* 21, pp. 445-448.
- KÖRBER-GROHNE, U., 1987. *Nutzpflanzen in Deutschland. Kulturgeschichte und Biologie*. Stuttgart, Konrad Theiss Verlag.
- LANTING, J.N., 1973. Laat-neolithicum en vroege bronstijd in Nederland en NW-Duitsland: continue ontwikkelingen. *Palaeohistoria* 15, pp. 215-317.
- LANTING, J.N., 1990. Nogmaals de bouwdatums van het houten gebouw onder de St.-Walburgkerk, en van de houten en tufstenen voorgangers van de Martinikerk. *Groningse Volksalmanak*, pp. 169-178.
- LEE-THORP, J.A., J.C. SEALY & N.J. VAN DER MERWE, 1989. Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet. *Journal of Archaeological Science* 16, pp. 585-599.
- LITTLE, E.A. & M.J. SCHOENINGER, 1995. The Late Woodland diet on Nantucket Island and the problem of maize in coastal New England. *American Antiquity* 60, pp. 351-368.
- LOUWE KOOIJMANS, L.P., 1974. *The Rhine/Meuse delta. Four studies on its prehistoric occupation and holocene geology*. Dissertatie Leiden. Tevens verschenen als: *Oudheidkundige Mededelingen uit het Rijksmuseum van Oudheden te Leiden* 53-54 (1972-73), en als: *Analecta Praehistorica Leidensia* 7, 1974.
- LOUWE KOOIJMANS, L.P., 1983. *De auteurs van de antiquiteiten*. Rede, uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van gewoon hoogleraar in de prehistorie aan de Rijksuniversiteit te Leiden op vrijdag 25 februari 1983.
- LOUWE KOOIJMANS, L.P., 1985. *Sporen in het land. De Nederlandse delta in de prehistorie*. Amsterdam, Meulenhoff.
- LUBELL, D., M. JACKES, H. SCHWARCZ, M. KNYF & C. MEIKLEJOHN, 1994. The mesolithic-neolithic transition in Portugal: isotopic and dental evidence of diet. *Journal of Archaeological Science* 21, pp. 201-216.
- MEIKLEJOHN, C., E. BRINCH PETERSEN & V. ALEXANDERSEN, in druk 1. The later mesolithic population of Sjaelland, Denmark and the neolithic transition. In: M. Zvelebil, L. Domanska & R. Dennell (eds.), *The origins of farming in the Baltic zone*. Oxford.
- MEIKLEJOHN, C., E. BRINCH-PETERSEN & V. ALEXANDERSEN, in druk 2. Anthropology and archaeology of mesolithic gender in the western Baltic. In: *Gender and material culture: from prehistory to the present*.
- MEIKLEJOHN, C. & T. CONSTANDSE-WESTERMANN, 1978. The human skeletal material from Swifterbant, earlier neolithic of the Northern Netherlands. I. Inventory and demography (= Final reports on Swifterbant I). *Palaeohistoria* 20, pp. 39-89.
- MOOK, W.G., 1968. *Geochemistry of the stable carbon and oxygen isotopes of natural waters in the Netherlands*. Dissertatie Groningen.
- MOOK, W.G., 1977. *Isotopologie, superspecialistisch of multidisciplinair*. Oratie, uitgesproken ter gelegenheid van de aanvaarding van het ambt van gewoon lector in de isotoepnfysica aan de Rijksuniversiteit te Groningen op dinsdag 15 november 1977.
- MULDER-BAKKER, A.B., e.a., 1995. *De kluisenaar in de eik*. Hilversum, Verloren.
- MURRAY, M.L. & M.J. SCHOENINGER, 1988. Diet, status, and complex social structure in Iron Age Central Europe: some contributions of bone chemistry. In: D. Blair Gibson & M.N. Geselowitz (eds.), *Tribe and polity in late prehistoric Europe*. New York & London, Plenum Press, pp. 155-176.
- NEER, W. VAN & A. ERVYNCK, 1993. *Archeologie en vis (= Herlevend Verleden 1)*. Zellik, Instituut voor het Archeologisch Patrimonium.
- NOE-NYGAARD, N., 1988. $\delta^{13}\text{C}$ values of dog bones reveal the nature of changes in Man's food resources at the mesolithic-neolithic transition, Denmark. *Isotope Geoscience* 73, pp. 87-96.
- OLSSON, I.U., 1980. Content of ^{14}C in marine mammals from northern Europe. *Radiocarbon* 22, pp. 662-675.
- OLSSON, I.U., 1983. Dating non-terrestrial materials. *PACT* 8, pp. 277-294.
- PIRLING, R., 1971. Ein Bestattungsplatz gefallener Römer in Krefeld-Gellep. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 1, pp. 45-46.
- PIRLING, R., 1983. Die Grabungen in Krefeld-Gellep, 1981/82. *Ausgrabungen im Rheinland '81/82*, pp. 128-131.
- POLLARD, A.M., 1993. Tales told by dry bones. *Chemistry & Industry* NS 50, pp. 359-362.
- RÉAU, L., 1959. *Iconographie de l'art chrétien*. Paris, Presses universitaires de France. Spec. Tome III: *Iconographie des saints*, III P-Z, repertoires.
- ROEVER, J.P. DE, 1979. The pottery from Swifterbant – Dutch Ertebølle? (= Swifterbant contribution 11). *Helinium* 19, pp. 13-27.
- RUNIA, L.T., 1987. *The chemical analysis of prehistoric bones. A paleodietary and ecoarchaeological study of Bronze Age West-Friesland (= BAR Intern. Series 363)*. BAR, Oxford.
- SCHOENINGER, M.J., 1989. Reconstructing prehistoric human diet. *Homo* 39, pp. 78-99.
- SCHOENINGER, M.J., M.J. DENIRO & H. TAUBER, 1983. Stable nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet. *Science* 220, pp. 1381-1383.
- SCHOENINGER, M.J. & M.J. DENIRO, 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, pp. 625-639.
- SCHOENINGER, M.J. & K. MOORE, 1992. Bone stable isotope studies in archaeology. *Journal of World Prehistory* 6, pp. 247-296.
- SCHWARCZ, H.P., 1991. Some theoretical aspects of isotope paleodiet studies. *Journal of Archaeological Science* 18, pp. 261-275.
- SCHWARCZ, H.P., J. MELBYE, M.A. KATZENBERG & M. KNYF, 1985. Stable isotopes in human skeletons of southern Ontario: reconstructing paleodiet. *Journal of Archaeological Science* 12, pp. 187-206.
- TAUBER, H., 1979. ^{14}C -dating of arctic marine mammals. In: R. Berger & H.E. Suess (eds.), *Radiocarbon dating*. Berkeley/Los Angeles/London, University of California Press, pp. 447-452.
- TAUBER, H., 1983. Carbon-13 evidence for the diet of prehistoric humans in Denmark. *PACT* 8, pp. 235-237.
- TELEGIN, D.Y., 1986. *Dereivka. A settlement and cemetery of Copper Age horse keepers on the Middle Dnieper (= BAR Intern. Series 287)*. Oxford.
- TELEGIN, D.Y. & I.D. POTEKHINA, 1987. *Neolithic cemeteries and populations in the Dnieper Basin (= BAR International Series 383)*. Oxford.
- TIESZEN, L.L. & T. FAGRE, 1993. Carbon isotopic variability in modern and archaeological maize. *Journal of Archaeological Science* 18, pp. 227-248.
- VIS, G.N.M., 1987. Adalbert van Egmond, een diaken in het gezel-

schap van Sint Willibrord? In: *Kennemer historie. Uit de geschiedenis van Alkmaar en omstreken* (= Alkmaarse Historische Reeks 7). Zutphen, Walburg Pers, pp. 17-36.

- VOGEL, J.C., 1991. Over de radiokoolstof-dateringen van skeletten uit de abdijkerk te Rijnsburg. Bijlage 2 in: B.K.S. Dijkstra, *Een stamboom in been*. Amsterdam, De Bataafsche Leeuw, pp. 151-153.
- VOGEL, J.C. & N.J. VAN DER MERWE, 1977. Isotopic evidence for early maize cultivation in New York state. *American Antiquity* 42, pp. 238-242.
- WAALS, J.D. VAN DER, 1977. Excavations at the natural levee sites S2, S3/5 and S4 (= Swifterbant contribution 6). *Helinium* 17, pp. 3-27.
- WEERD, M.D. DE, 1977. The date of Valkenburg I reconsidered: the reduction of a multiple choice question. In: B.L. van Beek, R.W. Brandt & W. Groenman-van Waateringe (eds.), *Ex Horreo*. Amsterdam, A.E. van Giffen Instituut voor Prae- en Protohistorie, pp. 255-289.
- WINTER, J.M. VAN, 1981. Nahrung auf dem Lobthier Zollhaus auf Grund der Zollrechnungen aus den Jahren 1426-27, 1427-28 und 1428-29. In: T.J. Hoekstra, H.L. Janssen & I.W.L. Moerman (eds.), *Liber Castellorum*. Zutphen, De Walburg Pers, pp. 338-348.
- YPMA, Y.N., 1962. *Geschiedenis van de Zuiderzeevervisserij*. Dissertatie Amsterdam. Tevens verschenen als no. 27 van de Reeks Publikaties der Stichting van het Bevolkingsonderzoek in de Drooggelegde Zuiderzeepolders.
- ZAGWIJN, W.H., 1983. Applications of radiocarbon dating in geology. *PACT* 8, pp. 71-90.

BIJLAGE: Toelichting bij de figuren 5 en 6.

De procedure voor de bepaling van $d^{13}C$ in botcollageen in Groningen is beschreven door Runia (1987: p. 154). De massaspectrometers die in Groningen werden en worden gebruikt zijn een VG Micromass 903 en een SIRA 9. Recentelijk is ook een Europe Scientific 20-20 massaspectrometer gebruikt. Deze voldeed echter niet aan de verwachtingen wat betreft reproduceerbaarheid. Om die reden zijn bepalingen van $d^{13}C$ verricht op de ES 20-20 buiten beschouwing gelaten bij het vervaardigen van de figuren 5 en 6. Het betreft 16 bepalingen aan Iers botmateriaal (4x dierlijk, 10x menselijk/prehistorisch, 2x menselijk/middeleeuws) en 1 bepaling aan Nederlands botmateriaal (dierlijk).

De reproduceerbaarheid van $d^{13}C$ -bepalingen werd door Runia getest door herhaald meting aan een monster collageen, geëxtraheerd uit vers koeiebot. De gemiddelde waarde was -21.56‰ , met een standaarddeviatie van 0.06‰ . Volgens Schwarzc (1991: p. 268)

kunnen geen verschillen van betekenis worden verwacht bij bepalingen van $d^{13}C$ in collageen uit verschillende botten van hetzelfde skelet. In de praktijk blijkt echter dat bij archeologisch materiaal wel degelijk grote verschillen kunnen optreden, aanzienlijk groter dan op basis van Runia's standaarddeviatie verwacht kan worden. In een aantal gevallen beschikken we over twee of drie bepalingen voor hetzelfde skelet, soms verricht aan hetzelfde bot, soms aan verschillende beenderen. In twee gevallen beschikken we bovendien over metingen in Groningen en Pretoria aan hetzelfde monster botcollageen.

Velzen-Hofgeest	-21.02 en -20.98‰
Zwaagdijk 637	-19.94 (massief) en -22.89‰ (rib)
Zwaagdijk 638	-20.20 (massief) en -20.87‰ (rib)
Oostwoud 242	-19.79 en -19.83 (massief), -20.62‰ (rib)
Hoogkarspel tum I ^a	-20.80 en -21.13‰
Vlaardingen/Thidbald	-19.37, -20.50 en -20.65‰
Vlaardingen MD 16.84	-20.12 en -20.66‰
Rijnsburg 93* (Dirk VI)	-18.99 (Groningen), -18.7‰ (Pretoria)
Rijnsburg 174	-20.2 (Groningen), -19.7‰ (Pretoria)

Het is duidelijk dat aanzienlijke verschillen kunnen optreden. Runia (1987, p. 158) heeft er al op gewezen dat bij de drie gevallen die hij bestudeerde (Zwaagdijk 637 en 638, Oostwoud 242) de negatieve waarden bij het poreuze botmateriaal optraden. Anders dan Runia, zijn wij van mening dat de geconstateerde variatie alleen het gevolg is van verschillende mate van verontreiniging (poreus bot absorbeert meer humaten dan massief bot), en van kleine verschillen in de voorbehandeling.

In de figuren 5 en 6 is alleen gebruik gemaakt van waarden van $d^{13}C$ die in Groningen zijn bepaald, met uitzondering van een drietal dat in Pretoria werd gemeten. Twee daarvan zijn duplicaten van metingen die in Groningen aan hetzelfde materiaal werden verricht. De verschillen bleken zeer klein (zie bovenstaande tabel en Vogel, 1991). Dat metingen van andere laboratoria niet worden gebruikt, is een gevolg van onze ervaringen met bepalingen uit Oxford. Zowel uit Groningen als uit Oxford zijn voldoende bepalingen van $d^{13}C$ in prehistorisch menselijk bot bekend om een vergelijking van beide laboratoria mogelijk te maken. De samenstelling van beide groepen is vergelijkbaar wat betreft de spreiding in tijd en ruimte. Terwijl de Groninger bepalingen een vrijwel gesloten groep vormen, die grafisch weergegeven de vorm van een normaal-verdeling met relatief smalle basis benadert, vormen de Oxford-bepalingen een veel onregelmatiger groep met een aanzienlijk wijdere spreiding (zie fig. 8). De helft van de Oxford-bepalingen ligt buiten de variatiebreedte van de Groninger bepalingen. Dit verschil kan niet het gevolg zijn van een andere samenstelling, met viseters in de Oxford-groep en vleeseters in de Groninger groep, of van verschillen in voorbehandeling. Het

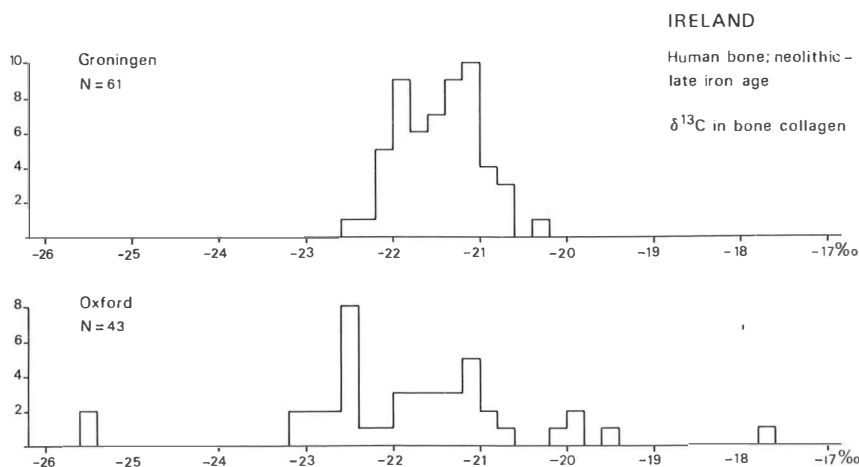


Fig. 8. Histogrammen van $\delta^{13}C$ -waarden in menselijk botcollageen uit Ierland, daterend uit Neolithicum, Bronstijd, en IJzertijd, gemeten in Groningen, resp. Oxford. De spreiding van de Oxford-metingen is onwaarschijnlijk groot, gezien de overeenkomstige samenstellingen van beide groepen.

moet een instrumenteel probleem zijn. Om die redenen zijn ook bij het middeleeuwse menselijke bot, zowel in Ierland als Nederland als bij het Ierse dierlijke bot, Oxford-bepalingen van $d^{13}C$ buiten beschouwing gelaten.

Het lijkt ons bovendien beter ook metingen van andere laboratoria niet te combineren met de Groninger, alvorens is vastgesteld dat duplicaat-bepalingen vergelijkbaar zijn, of overeenkomstig samengestelde series vergelijkbare gemiddelden en spreidingen opleveren. Het betreft in dit geval voornamelijk metingen uit Belfast, en daarnaast enkele uit Uppsala, Utrecht en Glasgow.

Bij het opstellen van de figuren 5 en 6 is slechts een klein aantal bepalingen op MS-903 en SIRA-9 weggelaten. Bij het Nederlandse dierlijk bot betreft het vijf metingen, te weten GrN-11973 (Andijk 4), GrN-11974 (Andijk 5), GrN-11976 (Bovenkarspel-Het Valkje 27), GrN-11978 (Bovenkarspel-Het Valkje 33) en GrN-9232 (Hazendonk 8b2). Bij de eerstgenoemde vier zijn de bijbehorende waarden van $d^{13}C$ -19.70, -19.70, -19.71 respectievelijk -19.65‰. Deze liggen aan de bovengrens van de spreiding van de 139 bepalingen waarop de grafiek is gebaseerd. Het betreft bovendien een viertal min of meer opeenvolgende bepalingen, hetgeen doet vermoeden dat de afwijkende getallen het gevolg zijn van een instrumenteel probleem.

Hazendonk 82b betreft een bot uit VL2B + AOO-context, met een verwachte ^{14}C -ouderdom van ca. 4000 BP. De gemeten ^{14}C -ouderdom bleek echter 4660 ± 40 BP te zijn, met een waarde van $d^{13}C$ van -23.39‰. Onze veronderstelling dat het niet om dierlijk bot maar om menselijk bot met een aanzienlijk reservoir-effect, dus van een riviervisser, zou kunnen handelen, wat zowel de afwijkende datering als $d^{13}C$ zou verklaren, wordt door L. Verhart (pers. med.) als onwaarschijnlijk beschouwd. Hij is van mening dat het dierlijk bot moet zijn geweest, dat mogelijk verspoeld is uit oudere lagen. Dat zou wel de gemeten ^{14}C -ouderdom verklaren, maar niet de sterk afwijkende waarde van $d^{13}C$.

Bij het Nederlandse prehistorische menselijk bot is vooral gebruik gemaakt van de metingen van Runia, zoals genoteerd in de laboratoriumjournalen. Waar meerdere bepalingen van hetzelfde skelet voorhanden waren (zie bovenstaande tabel) zijn de gemiddelden genomen. Alleen bij Zwaagdijk 637 is de onwaarschijnlijk lage waarde van -22.89‰ voor collageen uit een rib buiten beschouwing gelaten.

Bij het middeleeuwse en jongere menselijke bot uit Nederlands is eveneens slechts één bepaling weggelaten, en wel de waarde van -23.25‰, behorend bij GrN-7184 Groningen-Martinikerkerk nr. 7, een schedel met een gemeten ^{14}C -ouderdom van 1155 ± 90 BP. Deze waarde valt ver buiten de spreiding van de overige, en suggereert een aanzienlijke consumptie van riviervis. Er is echter geen sprake van een veroudering, als gevolg van rivierreservoir-effect, bij de ^{14}C -ouderdom. Een brede plank die direct boven de schedel werd gevonden (waarschijnlijk niet de bijbehorende kistdeksel, maar een stratigrafisch jonger 'plankgraf') heeft een ^{14}C -ouderdom van 1100 ± 30 BP, GrN-7183 (Lanting, 1990). Ook houtmonsters van andere kisten in de directe omgeving hebben vergelijkbare ^{14}C -ouderdommen. Mogelijk is de zeer negatieve waarde het gevolg van absorptie van humaten, of anders een niet herkende meetfout.

Bij het Ierse materiaal is slechts één waarde van $d^{13}C$ buiten beschouwing gelaten, n.l. die van -24.87‰ in een, hoogstwaarschijnlijk middeleeuws, varkensbot uit het veen bij Cloondaff, Co. Mayo. Gecombineerd met de onverwacht jonge ^{14}C -leeftijd wijst dit getal op ernstige verontreiniging met humaten uit het veen.

Overigens is geen gebruik gemaakt van bepalingen van $d^{13}C$ in collageen uit gewei. De ervaring leert dat bij dit poreuze materiaal een veel grotere spreiding optreedt dan bij bot, ongetwijfeld vanwege de sterkere absorptie van humaten.