

Bioarcheologisch onderzoek van de menselijke resten uit Castricum-Oosterbuurt

Lisette M. Kootker & Eveline Altena

Opdrachtgever: Provincie Noord Holland
Rob van Eerden
Projectnummer: 2010-07
Uitvoerders: Lisette M. Kootker
Instituut voor Geo- en Bioarcheologie
Vrije Universiteit Amsterdam

Eveline Altena
Onder leiding van Peter de Knijff
Forensisch Laboratorium voor DNA Onderzoek
Leids Universitair Medisch Centrum

IGBA Rapport 2010-07

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	i
1. Inleiding	1
1.1. Onderzoeksvragen	1
2. Archeologische achtergrond	3
2.1. Fysisch antropologisch onderzoek	3
2.2. Buikbegravingen	4
3. Materiaal en onderzoeksmethoden	5
3.1. Reconstructie van het voedselpatroon	5
3.2. Herkomststudie	5
3.2.1. Strontium isotopen	5
3.2.2. Zuurstof isotopen	7
3.3. DNA testonderzoek	9
3.4. Koolstofdatering	10
4. Resultaten	11
4.1. Dieetreconstructie	11
4.2. Herkomstonderzoek	12
4.2.1. Strontium isotopen	12
4.2.2. Zuurstof isotopen	14
4.1. DNA testonderzoek	17
4.2. Koolstof datering (¹⁴ C)	17
5. Discussie	21
6. Conclusies	23
7. Aanbevelingen	25
8. Dankwoord	27
Referenties	29
 Bijlage 1 – Dieetreconstructie	 33
Bijlage 2 – Herkomstonderzoek	35
Bijlage 3 – ¹⁴ C resultaten	37
Issuelist	41

1. Inleiding

In het kader van een derde editie van de interactieve tentoonstelling “Schatten onder je voeten” is aanvullend bioarcheologisch onderzoek uitgevoerd op de menselijke skeletresten uit Castricum, plangebied Oosterbuurt. Archeologische vondsten hebben de afgelopen jaren meer inzicht gegeven in de landschappelijke en culturele geschiedenis van Noord-Holland en is er een begin gemaakt met het opvullen van de kennislacune in de bewoningsgeschiedenis van het westelijk kustgebied in Noord-Holland.

Het doel van dit bioarcheologische onderzoek is meer te weten te komen over de bewoners van 3^e en 4^e eeuws Noord-Holland. Daartoe zijn van maximaal acht individuen bot- en/of tand-monsters genomen voor respectievelijk dieetreconstructie, herkomststudie, DNA testonderzoek en koolstof datering.

Met dit multidisciplinaire bioarcheologische onderzoek verwelkomen wij Hilde in de 21^e eeuw, zodat zij het publiek weer een blik kan gunnen in haar leven van een kleine 17 eeuwen geleden.

1.1. Onderzoeksvragen

De aanleidende vraag voor dit uitgebreide biospecialistische onderzoek heeft betrekking op één specifiek individu; een jonge vrouw wie op een kleine 800 meter van het grafveld op haar buik begraven is. “Hilde” luidt sinds 2006 haar naam.

De vraag in hoeverre Hilde verbonden is met de begraven individuen in het grafveld, is echter tot op de dag van vandaag onbeantwoord gebleven. Door middel van stabiele isotopen (dieet) onderzoek, herkomst onderzoek, een DNA testonderzoek en koolstofdatering is geprobeerd meer inzicht te krijgen in de relatie tussen Hilde en de overige individuen uit het grafveld.

Het doel van het archeologische DNA testonderzoek was het verkrijgen van een indicatie van de kwaliteit van het DNA in de monsters en de mate van contaminatie van het DNA in te schatten. De koolstofdateringen zijn uitgevoerd op enerzijds twee nog niet eerder gedateerde individuen om een beter beeld te krijgen van de datering van het grafveld en anderzijds op Hilde (S148) om de eerdere dateringen te verifiëren.

Ten behoeve van de reconstructie van het voedselpatroon is gebruik gemaakt van stikstof en koolstof isotopen, voor de herkomststudie is gebruik gemaakt van strontium en zuurstof isotopen. Beide onderzoeken zijn uitgevoerd door het Instituut voor Geo- en Bioarcheologie van de Vrije Universiteit te Amsterdam. Het DNA test onderzoek is uitgevoerd door het Forensisch Laboratorium voor DNA Onderzoek (FLDO) van het Leids Universitair Medisch Centrum en de koolstofdateringen zijn uitgevoerd door de Universiteit van Uppsala, Zweden.

2. Archeologische achtergrond

In 1995 en 1996 is in de gemeente Castricum, plangebied Oosterbuurt, een gedeelte van een nederzetting opgegraven uit de Romeinse tijd en de Vroege Middeleeuwen. Deze opgraving vond plaats in het kader van uitbreiding van de gemeente Castricum.¹

Tijdens de opgravingen is een grafveldje blootgelegd met acht vrijwel complete inhumaties.² Zes begravingen (S3, S4, S5, S6, S8 en S9) lagen evenwijdig gegroepeerd in het noordwestelijke deel van het areaal. Twee andere inhumaties (S138 en S148) zijn op enige afstand van het grafveld gevonden en worden beschouwd als individuele bijzettingen.

De individuen uit het grafveldje zijn allen op de rug begraven. Twee individuen zijn in de lenterichting van een greppel begraven (S3 en S4). Een aantal graven is later verstoord bij het uitgraven van een ringsloot (S17). In de randzone en op de bodem van deze sloot zijn menselijke botresten gevonden. Een deel daarvan hoort mogelijk bij S4. Het andere deel is mogelijk afkomstig van inhumaties die bij de aanleg van de sloot geheel of grotendeels geruimd zijn.

Op één inhumatie na zijn de doden netjes in het grafveld bijgezet. De houding van inhumatie S9 daarentegen suggereert dat de dode zonder veel omhaal in de kuil is geworpen. Datzelfde is te zeggen voor de twee losse bijzettingen die op een kleine 30 meter van het grafveld zijn gevonden. Individue S138 is aangetroffen in een greppel en was bijgezet tussen nederzettingsafval in een laat stadium van de opvulling van de greppel.

De tweede losse inhumatie (S148, "Hilde") lag ten oosten van S138. Dit betreft een heel slordige bijzetting; het individu is in een ondiepe kuil op haar buik begraven met één hand onder haar bekken en de andere arm min of meer gestrekt langs haar lichaam.

2.1. Fysisch antropologisch onderzoek

Alle opgegraven individuen zijn fysisch antropologisch onderzocht.³ In het grafveld zijn minimaal drie mannen begraven (S3, S5 en S8), een vrouw (S9) en twee niet nader te bepalen individuen (S4 en S6). De tweede losse bijzetting naast Hilde is ook een vrouw (S138). Uit de bodem van de ringsloot S17 zijn enkele losse beenderen en onderkaken gevonden. Deze zijn mogelijk afkomstig van onder andere S3 en S4, maar dat is niet met zekerheid aan te tonen.

S3 betreft een jonge man van tussen de 16 en 20 jaar oud zonder bijzondere lichamelijke afwijkingen. Dat geldt niet voor de man S5. Deze man met een leeftijd van 46-52 jaar vertoonde meerdere afwijkingen. Allereerst waren de wervels van het heiligbeen en de vijfde lendenwervel niet gesloten; deze afwijking kennen we beter onder de naam 'open rug' (*spina bifida*). De vijfde lendenwervel vertoont tevens sporen dat er een fusie met het heiligbeen ging plaatsvinden (*sacralisatie*). De vierde lendenwervel heeft een losse wervelboog (*spondylolysis*). Beide beenderen vertonen eenzelfde afwijking: *osteochondritis dissecans*.

Bij deze afwijking ontstaan er putjes op gewrichtsvlakken door het loskomen van een stukje kraakbeen. Tot slot heeft S5 een rib gebroken, welke niet goed geheeld is.

Spondylolysis is ook aangetoond bij de 34 tot 40 jarige man uit S8 en *sacralisatie* heeft bij de 57-63 jarige vrouw uit S9 plaatsgevonden.

De vrouw naast Hilde (S138) is tussen de 54-60 jaar oud geworden en heeft in haar leven meerdere ribben gebroken. Twee daarvan waren nog helende op het moment dat zij stierf en één is nooit goed geheeld; hier is een pseudogewricht gevormd.

¹ pers. comm. R. van Eerden

² Cuijpers & Robb 1999

³ Cuijpers & Robb 1999

Hilde zelf was een jonge vrouw van tussen de 24 en 30 jaar oud. Haar linker ellepijp (*ulna*) vertoont een niet-geheelde breuk met een pseudogewricht. Dit type breuk noemen we een *Parry fracture* en ontstaat meestal bij het afweren van een slag. Het pseudo-gewricht (pseudo-artrose) is indicatief voor een slechte, dan wel niet stabiele verzorging van de breuk. Als gevolg van de niet geheelde breuk was er slechts beperkte beweging van de arm mogelijk. De arm heeft wel gefunctioneerd, getuige het pseudo-gewricht, maar was beperkt in de mogelijkheden: duwen, trekken en steunen zouden niet meer mogelijk zijn geweest. Er is namelijk geen spier aanwezig die goede sturing aan de onderarm geeft en, indien nodig, de beperkingen van een slecht of niet geheelde fractuur kan opheffen.⁴

Opvallend is ook dat Hilde in de onderkaak beide verstandskiezen mist. Zowel de linker als rechter kies ontbreekt congenitaal; dat betekent dat de kiezen nooit in de kaak zijn aangelegd, hetgeen een erfelijke afwijking is. Daarnaast is bij Hilde bij nader onderzoek een *processus supracondylaris* aangetroffen op het rechter opperarmbeen (*humerus*).⁵ Deze erfelijke aandoening is een verbening van een ligament (van Struthers) en mag niet beschouwd worden als een exostose.

Zoals hierboven opgesomd, is er een aanzienlijk aantal pathologieën op de skeletelementen aangetroffen. *Spondylolysis* en het ontbreken van de verstandskiezen zijn congenitale afwijkingen. Ook het voorkomen van *sacralisatie* bij twee individuen binnen een kleine groep is zeker opvallend te noemen. De verschijnselen zouden kunnen duiden op familiebanden tussen de overledenen, en zouden zelfs op inteelt kunnen wijzen. Wellicht dat er sprake is van een relatief kleine genetische pool in het gebied rondom het huidige Castricum aan het eind van de Romeinse tijd, waardoor genetische afwijkingen betrekkelijk veel voor kunnen komen.

2.2. Buikbegravingen

Begravingen waarbij het individu op de buik begraven is, worden in de Engelse terminologie *prone burials* genoemd. Dit type begravingen is niet uniek in Europa, maar wel in Nederland. In Nederland zijn er tot dusver slechts een relatief klein aantal buikbegravingen bekend, waarvan Hilde er één is. Enkele anderen zijn gevonden in ondermeer Eindhoven (Middeleeuwen), Zaltbommel (Midden Romeinse tijd) en Valkenburg-Marktveld (Romeinse tijd).⁶

Voor lange tijd zijn dit soort buikbegravingen geïnterpreteerd als begravingen van paria, van ongewenste, of zelfs geïmmigreerde mensen. De graven zijn onzorgvuldig gegraven, als ze überhaupt al gegraven zijn. In sommige gevallen, zoals bij Hilde, is er sprake van slechts een ondiepe kuil.

Het aantal buikbegravingen lijkt toe te nemen zodra er nieuwe sociale contacten zich ontwikkelen. In Groot-Brittannië bijvoorbeeld, kunnen 90% van alle buikbegravingen gedateerd worden in de Romeinse Tijd; een periode waarin de Romeinen vele conflicten hadden met onder andere de Schotten, de Franken en de Saksen. Daarnaast zijn er talloze interpretaties die op de buikbegravingen worden losgelaten.

Veel gehoorde interpretaties zijn onder andere dat buikbegravingen gereserveerd waren voor mensen met een lichamelijke beperking, dat dergelijke begravingen als straf voor gepleegde misdaden gezien kan worden of dat een buikbegraving de afstoting van een (religieuze) gemeenstap indiceert.⁷

Het archeologisch bewijs geeft echter geen antwoord op de vraag waarom iemand op de buik begraven is. Mogelijkerwijs verschilt dat per site, per datering en per individu.

⁴ Met dank aan Dr. A. Olijhoek voor het verschaffen van extra medische informatie aangaande de (on)mogelijkheden van een arm met een Parry fractuur met pseudo-artrose.

⁵ Door de 1^e auteur tijdens de reconstructie van het skelet van Hilde.

⁶ Eindhoven: Arts & Nollen 2006; Zaltbommel: Smits 2006; Valkenburg-Marktveld: Baetsen 2010

⁷ Zie Arcini 2009

3. Materiaal en onderzoeksmethoden

3.1. Reconstructie van het voedselpatroon

Het stabiele isotopen onderzoek om het paleodieet te reconstrueren is gebaseerd op het principe “*Je bent wat je eet*”. Dit houdt in dat de koolstof (C) en stikstof (N) isotopen die geanalyseerd worden een directe reflectie zijn van de isotopenwaarden van het geconsumeerde voedsel en de fractionatie daarvan door het afleggen van de fysiologische weg door het menselijk lichaam.

Stikstof en koolstof isotopen geven in de eerste plaats een indicatie van het trofische niveau van het genuttigde dieet. Dit houdt in dat met stikstof en koolstof isotopen analyse de plaats van het geconsumeerde eten in de voedselketen wordt bepaald; binnen een terreestisch (op het land) ecosysteem staan bijvoorbeeld de planten (primaire producenten) onderaan de voedselketen, gevolgd door de herbivoren en vervolgens de carnivoren. Gebaseerd op het principe van *bioaccumulatie*, komen herbivoren met de inname van vegetatie en de mens met de inname van vlees (‘prooi’) in het volgende trofische niveau terecht, waardoor met name herbivoren en carnivoren duidelijk van elkaar te onderscheiden zijn. Op basis van koolstofisotopen kan bovendien een onderscheid gemaakt worden tussen verschillende plantengroepen die geconsumeerd zijn; waterplanten en respectievelijk C3 en C4 terreestische planten.

Het klimaat kan echter wel invloed hebben op de isotopen ratio's. Droogtes veroorzaken een aanrijking van stikstof in locale fauna, waardoor resultaten van analyses een verstoord beeld kunnen veroorzaken. Dit gebeurt echter pas bij perioden van lang aanhoudende of hevige droogtes, hetgeen in tweede tot vierde eeuws Noord-Holland niet van toepassing is geweest.

Een uitgebreide beschrijving van de theoretische achtergrond van stabiele isotopen analyse staat beschreven in bijlage 1.

Ten behoeve van het stabiele isotopen onderzoek zijn er 15 monsters geanalyseerd afkomstig van acht individuen (zes uit het grafveld en twee losse bijzettingen) en twee dieren (rund en varken). Er zijn monsters genomen van bovenbenen (*femora*) en opperarmen (*humeri*), omdat deze pijpbeenderen een dikke cortex⁸ hebben die een relatieve kleine dichtheid heeft, waardoor het materiaal minder gevoelig is voor contaminatie in vergelijking met poreuze botten of beenderen waarvan de cortex veel dunner is. Vervolgens is het collageen uit het botmateriaal geëxtraheerd conform het protocol zoals beschreven in bijlage 2.

De monsters zijn gemeten met een Elemental analyser (NC2500, ThermoQuest Italia, Rodana, Italië) welke gekoppeld is aan een ‘continuous-flow isotope’ spectrometer (Delta Plus, Thermoquest Finnigan, Bremen, Duitsland). De gemiddelde afwijking voor deze machine is 0,15‰ voor koolstof en stikstof analyses. De resultaten worden uitgedrukt als delta (δ) notatie in promille ten opzichte van de standaard PDB (Pee Dee Belemnite) voor koolstof en ten opzichte van de standaard atmosferische waarde voor stikstof.

3.2. Herkomststudie

3.2.1. Strontium isotopen

Het chemische element strontium (⁸⁴Sr, ⁸⁶Sr, ⁸⁸Sr en het radioactieve ⁸⁷Sr dat wordt gevormd door het verval van rubidium 87) bevindt zich in de geologische ondergrond. Voor herkomststudies wordt gekeken naar de ratio ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, welke een functie is van de relatieve voorkomens van rubidium en strontium en de ouderdom van het gesteente: hoe ouder het gesteente, hoe hoger de ratio ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr en des te meer rubidium 87 er oorspronkelijk aanwezig was, des te hoger zal de ratio ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr zijn.

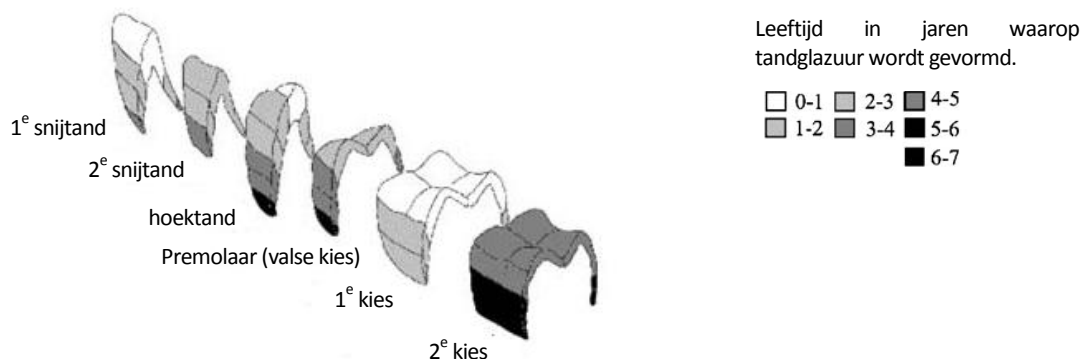
Door de hydrochemische cyclus en het proces van verwerking wordt het strontium via bodems, natuurlijk bronwater en de voedselketen opgenomen in bot- en tandmateriaal van mens en dier. Het strontium uit ons

⁸ Schors (buitenzijde) van bot.

eten neemt in de minerale fractie van het bot de plek over van calcium door middel van substitutie en wordt tijdens de mineralisatie van tandglazuur in de matrix van het glazuur opgenomen.⁹

Bot bestaat uit een unieke combinatie van ongeveer 70% minerale fractie en 30% organische fractie. Tachtig procent van de organische fractie bestaat uit collageen, de overige 20% uit eiwitten en water. Collageen geeft bot elasticiteit, de minerale fractie verschaft bot stevigheid en hardheid en bestaat grotendeels uit hydroxy-apatiet ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). Botweefsel wordt gedurende het hele leven vernieuwd en aangepast aan stress ("Wet van Wolff") door processen van resorptie (afbraak) van bot door osteoclasten en nieuwe botvorming door osteoblasten. De tijd die het bot nodig heeft om zichzelf volledig te vernieuwen noemen we de "turnover rate". Deze varieert per leeftijd, element en locatie binnen het element: compact bot heeft een kortere *turnover rate* dan spongies (trabeculair) bot. Voor de vorming en vernieuwing van bot zijn bouwblokken nodig, zoals aminozuren en vette zuren, welke wij uit ons voedsel halen. Deze bevatten een isotopen signaal welke representatief is voor hun herkomstgebied en welke vervolgens wordt opgenomen door het bot. Zodoende reflecteert het isotopen signaal uit bot het gemiddelde van ongeveer de laatste vijf tot tien jaar (compact bot) tot mogelijk 20 jaar (*femur*) van het leven.

Het tandglazuur bestaat, in tegenstelling tot bot, bijna volledig uit hydroxy-apatiet. Tandglazuur wordt door ameloblasten gevormd tijdens de ontwikkeling van de tanden.¹⁰ Tijdens de mineralisatie van het tandglazuur wordt het strontium in de matrix vastgelegd. De leeftijd waarop dit gebeurt is afhankelijk van de kies (Fig. 1). Na mineralisatie verandert het enamel praktisch niet meer.¹¹ De ameloblasten (glazuur vormende cellen) degenereren zelfs helemaal op het moment dat de tand doorbreekt, wat inhoudt dat het glazuur zelfs niet meer vervangen kan worden door nieuwe aanmaak.¹² Op deze manier wordt het strontium in het enamel opgenomen, waardoor met strontium isotopen analyse het strontium signaal kan worden bepaald van het geologische gebied waar een individu de eerste maanden tot de eerste zes jaar van zijn of haar leven gewoond heeft, afhankelijk van het te analyseren gebitselement.



Figuur 1. Vorming van tandglazuur bij menselijke gebitselementen (Hillson 1986).

Het strontiumsignaal in skeletmateriaal of enamel is echter zelden afkomstig van alleen de directe geologische eenheid waarin een individu (tijdelijk) heeft geleefd. De verwerking van gesteenten, de hydrologische cycli dat strontium transporteert en de biopurificatie van strontium tot bodems en in flora en fauna zorgt voor een mix van strontiumbronnen.

Voor herkomstonderzoek is het derhalve van groot belang om naast het strontium signaal van het individu, ook het biologische beschikbare strontiumsignaal van het lokale gebied waar het individu begraven is te bepalen. Zodoende kunnen verschillen of overeenkomsten tussen beiden gedefinieerd worden. Normaliter kan het lokale strontiumsignaal bepaald worden op twee verschillende manieren; enerzijds kan het botmateriaal van lokale knaagdieren met een kleine bewegingsratio bepaald worden waarbij verondersteld wordt dat deze dieren hun hele leven in datzelfde geologische gebied hebben geleefd en anderzijds kan het lokale strontiumsignaal berekend worden aan de hand van de resultaten van de te analyseren individuen, indien er

⁹ Bentley 2006

¹⁰ Stevens & Lowe 1997

¹¹ Hillson 1997

¹² Stevens & Lowe 1997

meer dan 30 individuen van eenzelfde site onderzocht worden. De gemiddelde waarden plus en minus twee maal de standaarddeviatie kan als lokaal strontiumsignaal gehanteerd worden.

Het doel van deze herkomststudie was specifiek te onderzoeken of Hilde (S148) een immigrante is geweest of niet. Daarvoor zijn er monsters genomen van de botten en de eerste molaren van Hilde zelf, de inhumatie buiten het grafveld (S138, vrouw) en een vrouw uit het grafveld zelf (S9).

Omdat in dit onderzoek het lokale strontiumsignaal niet accuraat bepaald kan worden, is in dit specifieke onderzoek voor een andere aanpak gekozen. In dit onderzoek is zowel het bot als het enamel van de 1^e molaar (M1) per individu onderzocht. Indien beide waarden overeenkomen wordt verondersteld dat het individu in hetzelfde geologische gebied is geboren als waar hij of zij overleden is, in dit geval het Noord-Hollandse kustgebied. Indien er duidelijk verschillen tussen beide strontiumsignalen worden aangetroffen, kan worden aangenomen dat het individu een immigrant betreft.

Om de ^{87}Sr voorkomens te berekenen worden deze genormaliseerd naar het stabiele ^{86}Sr . De resultaten worden geuit als de ratio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. De monsters zijn behandeld met zwak zuur om mogelijke contaminatie van secundaire carbonaten te verwijderen (voor het complete protocol zie bijlage 2). De monsters zijn geanalyseerd op een MAT 262 TIMS (Thermal Ionization Mass Spectrometer) van Finnigan. Er is in deze studie gestreefd naar een fout van 0,000005 tot 0,000010 (2σ).

3.2.2. Zuurstof isotopen

Zuurstof heeft drie stabiele isotopen: ^{16}O , ^{17}O en ^{18}O . De $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio (uitgedrukt in $\delta^{18}\text{O}$) wordt tijdens de groei in het tandglazuur en het botmateriaal opgenomen uit zowel het drinkwater (al dan niet verrijkt door metabolisme), de atmosferische O_2 als uit zuurstof in voedsel.¹³

De $\delta^{18}\text{O}$ in drinkwater wordt voornamelijk bepaald door het regenwater in een gebied. Dit wordt in West-Europa voornamelijk beïnvloed door de afstand van een gebied tot de kust, met andere woorden het continentale effect. Wanneer water verdampt boven de oceanen, gaan lichte isotopen makkelijker in de dampfase dan zwaardere. Hierdoor is er een positieve discriminatie van ^{16}O ten opzichte van ^{17}O en ^{18}O tijdens evaporatie.¹⁴

Door deze fractionatie is de waarde van waterdamp direct boven oceanen ongeveer -13%.¹⁵ Wanneer de waterdamp echter naar koudere atmosferen wordt getransporteerd treedt er

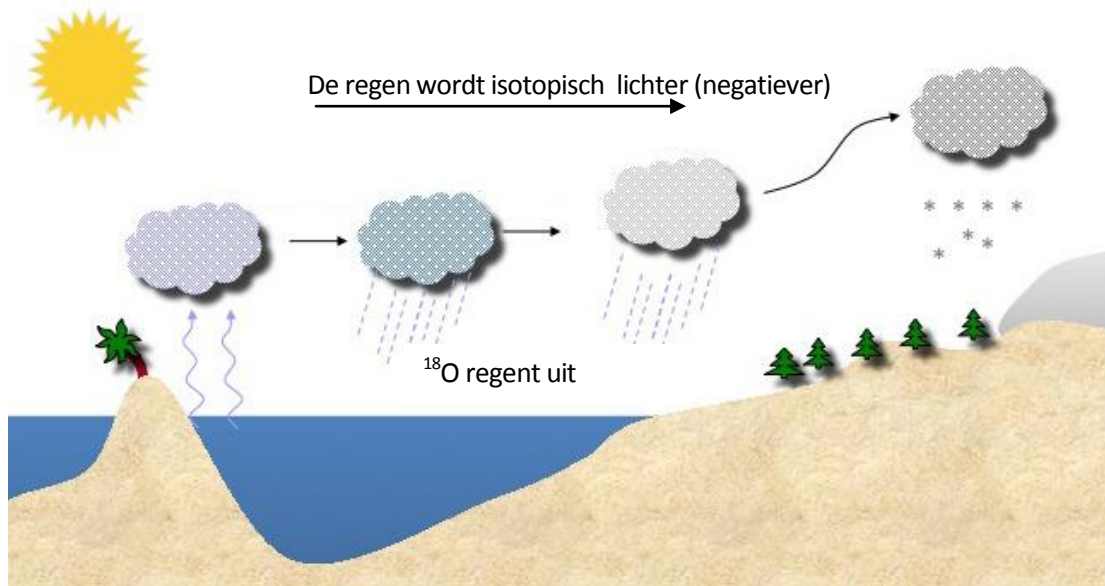
Condensatie en precipitatie (regen) op. Opnieuw vindt er fractionatie plaats: de zwaardere ^{18}O zal makkelijker condenseren dan de overige twee lichtere O-isotopen. Dit heeft als gevolg dat de regen isotopisch 'zwaarder' is dan de waterdamp waaruit het ontstaan is. Naarmate men verder vanuit de kust landinwaarts gaat, heeft regenen er meer zware zuurstof atomen uit, met als gevolg dat de waterdamp steeds 'lichter' wordt. De regen wordt landinwaarts ook steeds 'lichter' doordat het afkomstig is van een steeds isotopisch 'lichtere' waterdamp. De $\delta^{18}\text{O}$ waarden van drinkwater worden dus steeds negatiever/lager naarmate je verder van de kust bent. Dit fenomeen heet Rayleigh fractionatie en wordt geïllustreerd in figuur 2.¹⁶

¹³ Bryant et al. 1996

¹⁴ Sharp, 2007

¹⁵ Majoube, 1971

¹⁶ Sharp 2007



Figuur 2. Rayleigh fractionatie (collegedictaat M. Collins, University of York/Instituut voor Geo- en Bioarcheologie).

Naast de Rayleigh fractionatie zijn er nog meer componenten die effect hebben op de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio van drinkwater, zoals de hoogte, de breedtegraad en temperatuur (vochtigheid). Deze parameters zullen hieronder kort uitgelegd worden.

Hoogte

Het hoogte effect wordt veroorzaakt doordat lucht door gebergtes wordt opgestuwd en dus kouder wordt. Er ontstaat condensatie en regen waarbij opnieuw de zwaardere isotopen eerder uitregenen, waardoor de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio van de regen hoog in de bergen negatiever is dan het omringende laagland.¹⁷

Breedtegraad

Het breedtegraad effect wordt veroorzaakt doordat de meeste waterdamp ontstaat bij de equator en naarmate het noordelijker of zuidelijker wordt getransporteerd – naar hogere breedtegraden – er steeds meer zware isotopen uitregenen. Daarom wordt de $\delta^{18}\text{O}$ van regen negatiever (isotopisch lichter) naarmate je verder van de evenaar verwijderd bent.

Temperatuur

Het temperatuur effect is direct gerelateerd aan de hoeveelheid waterdamp die een luchtmassa bij een bepaalde temperatuur kan bevatten.¹⁸ Dit effect ligt aan de basis van de bovengenoemde effecten.

Naast klimatologische en geografische omstandigheden kan ook borstvoeding een effect hebben op de geanalyseerde $\delta^{18}\text{O}$ van tandglazuur. Borstvoeding maakt de $\delta^{18}\text{O}$ van enamel van de gebitselementen die in de eerste jaren van het leven gevormd worden positiever. Premolaren en eerste molaren bleken positiever dan derde molaren, omdat moedermelk verrijkt in ^{18}O is. Uit onderzoek is gebleken dat eerste molaren en premolaren vergelijkbare $\delta^{18}\text{O}$ hadden, maar dat derde molaren gemiddeld 0.5-0.7% en lager waren dan premolaren ($P=0,0003$) en eerste molaren ($P=0,0001$) respectievelijk.¹⁹

Andere effecten die de $\delta^{18}\text{O}$ van mensen kunnen verhogen zijn het drinken van brak water of het drinken uit één bepaalde waterbron waar veel evaporatie heeft plaatsgevonden. Ook kunnen perioden van stress tijdens de groei tot gevolg hebben dat een individu minder sterk discrimineert tegen zware isotopen.²⁰

¹⁷ Zie o.a. Bentley en Knipper 2005

¹⁸ Dansgaard 1964

¹⁹ Wright en Schwarcs 1998

²⁰ Schoeller, 1999

Zuurstof isotopen onderzoek kan worden uitgevoerd op de carbonaat groep in apatiet (CO_3 kan de OH^- ion in hydroxy-apatiet vervangen) of op de fosfaat (PO_4) groep. Verscheidene onderzoeken hebben aangetoond dat $\delta^{18}\text{O}_\text{C}$ gevoeliger is voor contaminatie dan de $\delta^{18}\text{O}$ uit de fosfaatgroep ($\delta^{18}\text{O}_\text{f}$), omdat de P-O binding energetisch stabiel is en derhalve minder susceptibel voor diagenese.²¹

In deze studie is de $\delta^{18}\text{O}_\text{f}$ van de eerste molaar gemeten ten opzichte van de V-SMOW standaard, de Vienna Standard Mean Ocean Water. Om de $\delta^{18}\text{O}_\text{f}$ om te rekenen naar de $\delta^{18}\text{O}$ van regen- en drinkwater ($\delta^{18}\text{O}_\text{w}$) is de volgende conversie vergelijking gehanteerd.²²

$$\delta^{18}\text{O}_\text{w} = 1,54 (\pm 0,09) \cdot \delta^{18}\text{O}_\text{p} - 33,72 (\pm 1,51) \quad (R^2 = 0,87)$$

De berekende $\delta^{18}\text{O}_\text{w}$ kan vervolgens geplotted worden op één van de beschikbare $\delta^{18}\text{O}_\text{w}$ kaarten van Europa en vergeleken worden met de ISOHIS database waarin de $\delta^{18}\text{O}_\text{w}$ van moderne precipitatie van de afgelopen decennia in gerapporteerd staan.²³

De monsters zijn geanalyseerd op een Thermo Finnigan Delta+ massaspectrometer. De accuraatheid en precisie van de metingen zijn gemonitord door middel van herhaaldelijke analyses van twee interne laboratorium standaarden en Florida fosfortiet gesteente (NBC 120C).

3.3. DNA testonderzoek²⁴

Om een indicatie te krijgen van de kwaliteit van het DNA is een kwantificeringstest gedaan waarmee de concentratie van celkern-DNA in het algemeen ingeschat kan worden en specifiek ook een indicatie wordt verkregen voor de eventuele hoeveelheid aanwezig mannelijk Y-chromosoom.

Daarnaast is een STR²⁵ profiel van het autosomale celkern-DNA (auSTR) getypeerd waarmee een inschatting van de mate van fragmentatie gemaakt kan worden, een geslachtsindicatie kan worden verkregen en ook bekeken kan worden of er sprake is van contaminerend DNA van andere personen in het monster. Ongeacht de resultaten van de kwantificeringstest is voor alle extracten getracht een auSTR profiel te typeren.

Voor alle extracten die aan de hand van de Y-chromosomale kwantificeringstest en auSTR testen als mannelijk getypeerd kunnen worden, wordt getracht een Y-chromosomaal STR (YSTR) profiel te typeren.

Op het clean-lab van het FLDO zijn in eerste instantie 19 monsters genomen van acht individuen (tabel 1). Naar aanleiding van een aanvullende offerte zijn later nog eens drie monsters genomen van drie individuen. In totaal zijn monsters van negen individuen beschikbaar. Er is zowel bot als gebitselementen bemonsterd. De botfragmenten zijn op uit hele botten gezaagd.

Van ieder individu is in eerste instantie één monster onderzocht. Wanneer beschikbaar ging de voorkeur uit naar een gebitselement. Van vijf individuen is alleen een botfragment als DNA monster gebruikt, van vier individuen is alleen een gebitselement als DNA monster gebruikt en van twee individuen is zowel een botfragment als een gebitselement gebruikt. Voor individu 148 zijn twee gebitselementen samengevoegd tot één monster.²⁶

²¹ Iacumin et al. 1996, Vennemann et al., 2002

²² Daux et al 2008

²³ IAEA, GNIP/ISOHIS database 2004, <http://isohis.iaea.org>

²⁴ Dit DNA onderzoek is uitgevoerd met behulp van methoden waarvoor het FLDO door de Raad voor Accreditatie is geaccrediteerd, tenzij expliciet anders is vermeld. De uitslagen van een archeologisch DNA testonderzoek kunnen niet als definitieve resultaten overgenomen worden. Hiervoor moet replicatie van de resultaten plaats vinden. De verkregen resultaten dienen enkel en alleen voor het verkrijgen van een indicatie van de kwaliteit van het DNA in de archeologische menselijke resten.

²⁵ Short Tandem Repeat

²⁶ De gebitselementen die beschikbaar waren van individu 148 waren allen vastgelijmd in de onderkaak. Het was niet bekend met welke lijm dit was gedaan. Op het FLDO is getracht de lijm op te lossen met zowel water als ethanol, maar beiden hadden geen resultaat. Omdat de gebitselementen erg broos waren was het niet mogelijk ze onbeschadigd en geheel uit de kaak te krijgen. Om toch genoeg materiaal te hebben om mee te werken is besloten twee gebitselementen samen te voegen tot één monster.

3.4. Koolstofdatering

Met als doel een beter beeld te krijgen van de datering van het grafveld en Hilde (S148) en om de eerdere dateringen te verifiëren of te falsifiëren zijn er koolstofdateringen uitgevoerd op twee nog niet eerder gedateerde individuen, S9 (vrouw uit grafveld) en S138 (vrouw buiten grafveld). Tevens is ook Hilde zelf (S148) opnieuw gedateerd.

Koolstof heeft twee stabiele isotopen: koolstof 12 (^{12}C), en koolstof 13 (^{13}C). Daarnaast bestaat het radioactieve koolstof 14 (^{14}C). Dit instabiele isotoop heeft een halveringstijd van 5736 jaar. Op het moment dat een individu overlijdt, begint de hoeveelheid ^{14}C af te nemen door radio actief verval, terwijl de twee andere koolstofisotopen stabiel blijven. De ouderdomsbepaling gebeurt door de verhouding $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ van het monster te bepalen. Hiertoe is de isotopen scheidingstechniek *Accelerator Mass Spectrometry* (AMS) gebruikt.

De dateringen zijn uitgevoerd door het Ångström laboratorium van de Universiteit van Uppsala, Zweden. Voor de calibratie van de monsters is gebruik gemaakt van WinCal25, met de dataset van Reimer 2009 (intcal09).

Tabel 1. Monsternamen DNA analyses.

Spoor	Monster	Type monster	Opmerkingen
3	1	<i>femur</i>	
	2	<i>femur</i>	
4	3	3.5	2 ^e valse kies links onder
	4	4.3	hoektand rechts onder
	19	pijpbeen	
5	5	3.7	2 ^e molaar links onder
	6	<i>femur</i>	
6	7	<i>femur</i>	
	8	<i>femur</i>	
8	9	<i>femur</i>	
	10	<i>femur</i>	
9	11	<i>humerus</i>	
	12	<i>humerus</i>	
	17	3.8	3 ^e molaar links onder
	20	4.6	1 ^e molaar rechts onder
17	21	4.3	hoektand rechts onder
138	13	2.3	hoektand links boven
	14	<i>femur</i>	
	18	1.3	hoektand rechts boven
148	15	<i>femur</i>	
	16	<i>femur</i>	
	22	3.7 en 4.4	2 ^e molaar links onder, 1 ^e valse kies rechts onder

Legenda

Monster Monsternummer FLDO

Type monster Skeletelement of gebitselement volgens de internationale tandnummering.²⁷

²⁷ De internationale tandnummering is een ISO 3950-systeem dat aan elke tand en kies in de mond van een mens een nummer toekent dat uit twee cijfers bestaat.

4. Resultaten

4.1. Dieetreconstructie

Het paleodieet van acht individuen en twee dieren is door middel van koolstof en stikstof isotopen geanalyseerd. De resultaten zijn weergegeven in tabel 2 en figuur 2.

De koolstof/stikstof ratio's (C/N) vallen allemaal binnen het geaccepteerde bereik van 2,9-3,6.²⁸ Dit houdt in dat het botmateriaal geen substantiële diagenetische veranderingen heeft doorgemaakt. Bijgevolg schetsen de resultaten van het isotopen onderzoek een accuraat beeld van het paleodieet.

De menselijke monsters hebben een bereik van 10,02 tot 11,74 voor $\delta^{15}\text{N}$ en een bereik van -17,02 tot -20,95 voor $\delta^{13}\text{C}$. Het varken en het rund hebben een $\delta^{15}\text{N}$ van respectievelijk 9,55 en 6,77‰ en een $\delta^{13}\text{C}$ waarde van respectievelijk -21,28 en -22,79‰. Ter controle van de accuraatheid van de analyses zijn er vijf duplo's gemeten (bijlage 1). De gemiddelde fout is een kleine 0,10‰, hetgeen als acceptabel beschouwd kan worden. Van de monsters die in duplo gemeten zijn, is het gemiddelde van de metingen gebruikt als eindresultaat.

Uit figuur 2 blijkt direct dat in verhouding tot de geschatte waarden van archeologische populaties gebaseerd op respectievelijk puur C3 terrestisch, C4 terrestrisch en mariene diëten, het dieet van de Castricommers vergelijkbaar is met het C3 terrestisch dieet, waarbij de consumptie van vlees domineert over de consumptie van vis of waterdieren.²⁹

Het dieet van één individu, S6 (geslacht onbekend), valt buiten de geschatte waarden voor een C3 terrestisch gebaseerd dieet. Het aandeel vis is bij dit individu mogelijk hoger geweest dan bij de andere individuen, waardoor de $\delta^{13}\text{C}$ waarde minder negatief is. Verschillende tussen de resultaten van Hilde (S148), de oude vrouw (S138) en de overige individuen uit het grafveldje zijn er niet. Alle individuen hebben een soortgelijk dieet genuttigd, met vlees en andere dierlijke producten als hoofdcomponent.

De $\delta^{15}\text{N}$ waarde van het rund is aan de hoge kant; herbivoren hebben meestal $\delta^{15}\text{N}$ van 5 tot 6‰, hoewel dit flink kan variëren.³⁰ Een verklaring voor de hogere $\delta^{15}\text{N}$ waarde kan de consumptie van ziltig gras geweest zijn.

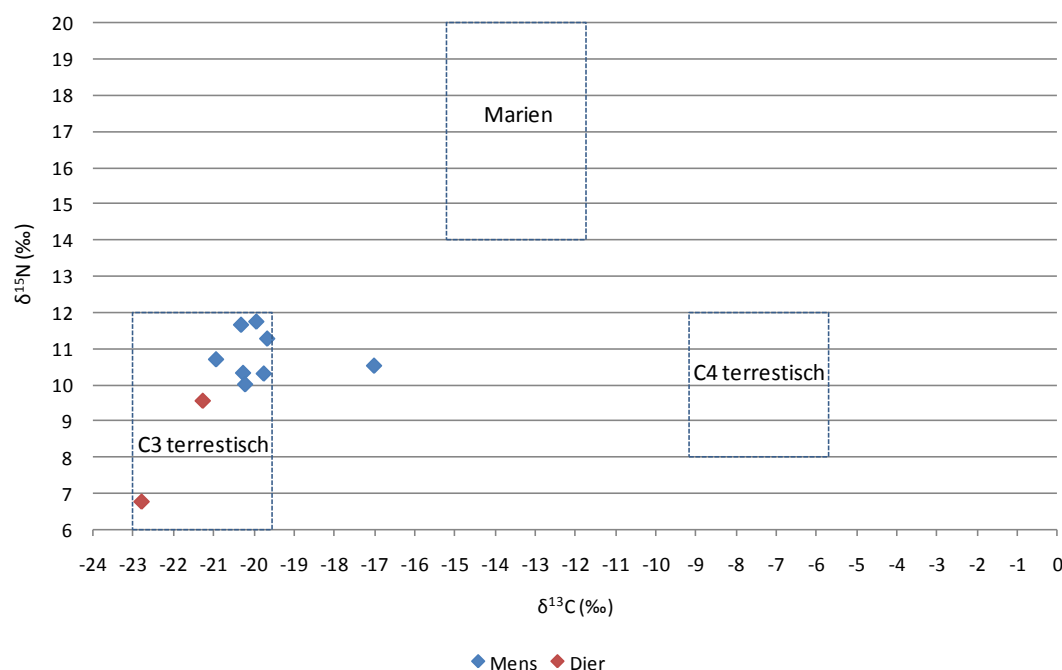
Tabel 2. Resultaten van de stikstof en koolstof isotopen analyse

Latijnse naam	Nederlandse naam	Monster	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	CN ratio
<i>Homo sapiens</i>	Mens	S3	11,74	-19,94	2,95
		S4	11,27	-19,67	3,00
		S5	10,33	-20,27	3,03
		S6	10,53	-17,02	2,88
		S8	10,32	-19,76	3,17
		S9	10,02	-20,22	2,99
		S138	11,65	-20,32	3,05
		S148	10,71	-20,95	3,04
<i>Sus domesticus</i>	Varken	R	9,55	-21,28	3,01
<i>Bos taurus</i>	Rund	V	6,77	-22,79	3,39

²⁸ DeNiro 1985

²⁹ Mays 2000

³⁰ zie o.a. Private *et al.* 2002; O'Connel & Lawler 2006



Figuur 3. Resultaten van de isotopenanalyse weergegeven met de geschatte bereiken van archeologische populaties met een bepaald dieet (gebaseerd op o.a. Mays 2000).

Door de infiltratie van zeewater in grondwater en het transport van zeewater door opspatting en wind naar nabijgelegen gronden kan er een *marine component* in de lokale vegetatie worden opgenomen. De relatief hogere $\delta^{15}\text{N}$ waarde van een marine ecosysteem ten opzichte van een terreestisch ecosysteem en diens invloed op de nabijgelegen gronden kan leiden tot een (lichte) verhoging van de $\delta^{15}\text{N}$ waarden van de consumenten van producten uit het terreestische ecosysteem.

Een andere mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat de runderen bijgevoerd zijn met gewassen van bemeste akkers. Bemesting veroorzaakt ook een verhoging van $\delta^{15}\text{N}$.³¹ De isotoopwaarden van het varken is geheel in lijn met de verwachting; het varken is een omnivoor en zal een soortgelijk dieet hebben gehad als de mens. Dit komt ook naar voren in de $\delta^{15}\text{N}$ en $\delta^{13}\text{C}$ waarden, welke vergelijkbaar is met die van de menselijke monsters.

4.2. Herkomstonderzoek

4.2.1. Strontium isotopen

Het doel van het herkomstonderzoek is te onderzoeken of Hilde (S148) een immigrante is geweest, hetgeen een mogelijke verklaring zou kunnen geven voor het feit dat zij op haar buik in een ondiepe kuil begraven is. Daartoe zijn er in totaal zes monsters genomen van drie individuen; S148 (Hilde), S138 (vrouw buiten grafveld) en S9 (vrouw in grafveld) respectievelijk. Van de drie individuen zijn er monsters genomen van het tandglazuur van de 1^e molaar en uit het bovenbeen (*femur*).

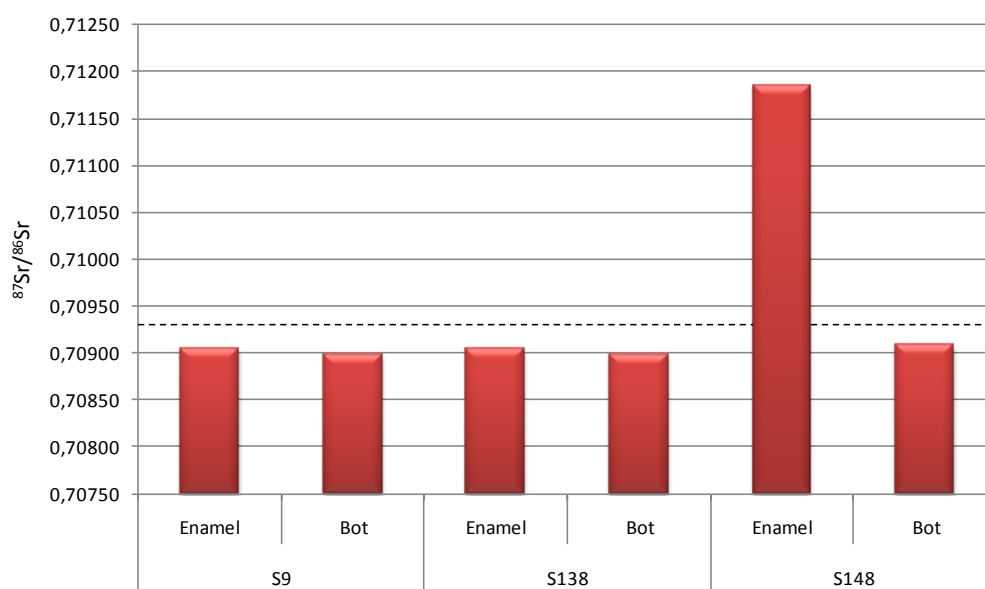
Opdat het strontium signaal van het bot het strontium signaal representeert van het geologische gebied waar het individu de laatste tien tot twintig jaar van zijn of haar leven geleefd heeft en het strontium signaal uit het tandglazuur het gebied representeert waar het individu tussen het vijfde en zesde levensjaar gewoond heeft, impliceert een verschil tussen beide analyses dat er migratie van het ene geologische gebied naar een ander geologisch gebied heeft plaatsgevonden. Indien er geen verschillen zijn tussen de twee strontium waarden, hebben de individuen in eenzelfde geologisch gebied geleefd dan waar ze zijn overleden.

De resultaten van het onderzoek staan weergegeven in tabel 3. De analyses hebben een gemiddelde standaarddeviatie van 0,000005 (1 σ), wat inhoudt dat de resultaten bijzonder accuraat zijn. In figuur 3 zijn de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ waarden van de bot en glazuur monsters weergegeven ten opzichte van modern zeewater ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0,70917).

³¹ Hedges & Reynard 2007

Tabel 3. Resultaten van de strontium analyses.

Individu	Type	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2σ
S9	Enamel	0,709049 ±	0,000013
	Bot	0,708985 ±	0,000007
S138	Enamel	0,709037 ±	0,000011
	Bot	0,708979 ±	0,000007
S148	Enamel	0,711852 ±	0,000010
	Bot	0,709073 ±	0,000009



Figuur 4. Resultaten van de strontium analyses (----- representeert de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio van modern zeewater).

Het strontium signaal uit het tandglazuur als uit het bot van individuen S9 en S138 zijn vrijwel identiek aan elkaar. Dit houdt in dat beide vrouwen in eenzelfde geologisch gebied zijn opgegroeid als zijn overleden. Tevens kan een strontium signaal van rond de 0,7090 als representatief worden beschouwd voor het lokale signaal voor Castricum-Oosterbuurt. De waarden liggen dicht bij de waarden van modern zeewater, hetgeen in de lijn der verwachting ligt gezien de geografische locatie van Castricum in de nabijheid van de Noordzee.

De resultaten van de analyses op het tandglazuur en het bot van Hilde (S148) zijn bijzonder interessant te noemen. De $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ waarde van 0,711852 van het tandglazuur indiceert zonder twijfel dat Hilde een immigrante is geweest. Aan de hand van het strontium signaal uit haar bot zelfs kan geconcludeerd worden dat ze al geruime tijd niet meer in haar geologische geboortegebied verbleef, maar al enige tijd op geologische gronden vergelijkbaar met die van Castricum leefde.³² Het strontium signaal uit haar bot vertelt ons dat zij niet lang genoeg in dit geologische gebied heeft gewoond om het bot volledig te laten hermodelleren, waardoor het bot niet helemaal het 'lokale' strontium signaal weergeeft. Dit houdt in dat Hilde korter dan 20 jaar in dit geologische gebied geleefd heeft.

Een $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio van 0,711852 duidt op een oude geologische ondergrond en valt binnen de range die enerzijds indicatief is voor gesteente uit het midden en boven Paleozoïcum (Siluur – Perm, periode van 443,7 Ma tot 251,0 Ma jaar geleden) en anderzijds voor metamorf³³ gesteente uit het Mesozoïcum (de periode van 251,0 Ma tot 65,5 Ma jaar geleden).³⁴

Gesteente van dit type komt op enkele plaatsen binnen Europa voor, waaronder in Ierland, de westkust van Groot Brittannië, zuidwest Duitsland in de omgeving van de deelstaten Rijnland-Palts en Noord Rijnland-

³² Pers. comm. Gareth Davies, hoofd afdeling Petrologie, Vrije Universiteit Amsterdam

³³ Metamorf gesteente is gesteente dat onder invloed van temperatuur, druk of hydrothermale vloeistoffen is gerekristalliseerd of gemetamorfoseerd. Meestal gebeurt dit op grotere diepte in de aardkorst of mantel.

³⁴ Voerkelius *et al.* 2010. Zie ook Montgomery *et al.* 2006; Eckhardt *et al.* 2009

Westfalen, zuidoost België en op kleinere schaal op het Iberisch schiereiland en Frankrijk (Fig. 5). Op basis van strontium isotopen is een groot deel van Europa uitgesloten als mogelijk herkomstgebied.

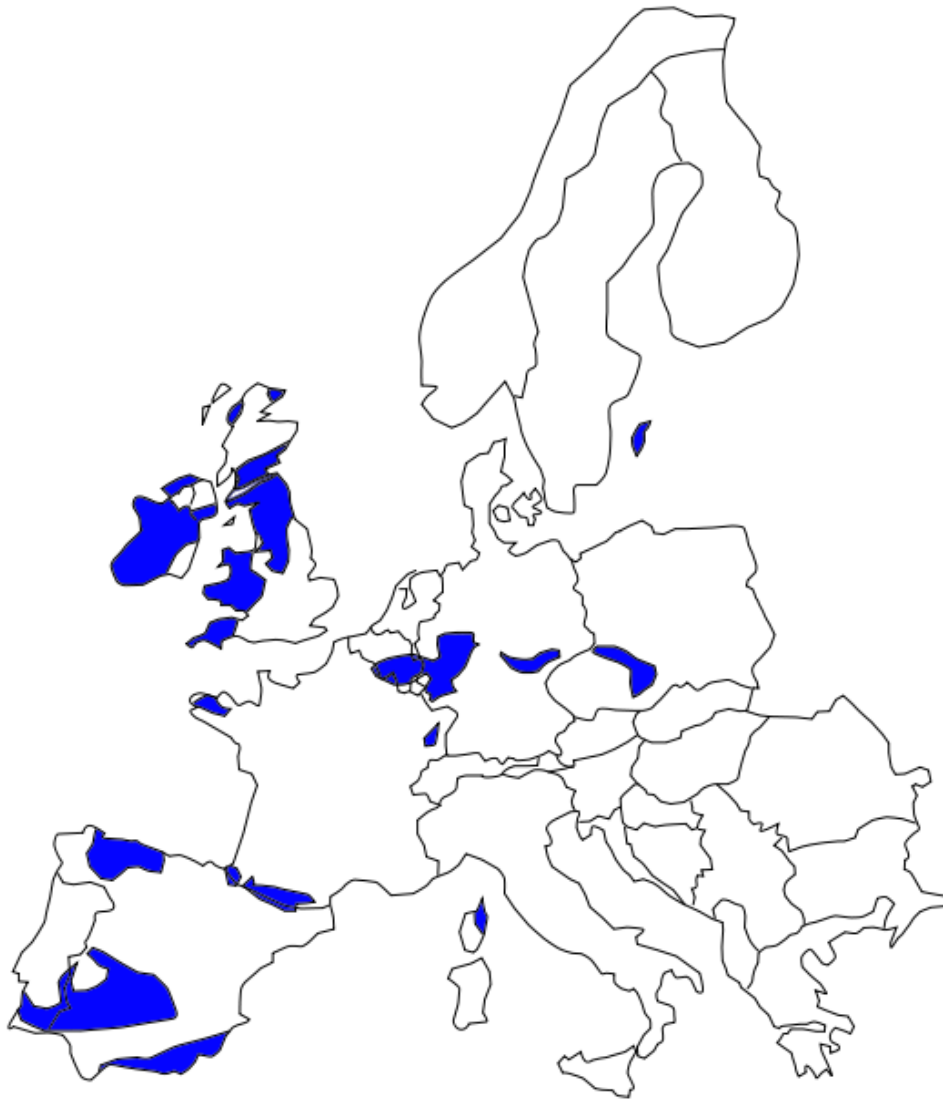
4.2.2. Zuurstof isotopen

Om meer duidelijkheid te scheppen over het mogelijke herkomstgebied van Hilde, is aanvullend zuurstof isotopen onderzoek gedaan op de eerste molaar. De $\delta^{18}\text{O}_w$ van moderne precipitatie in Nederland ligt tussen de -6,4‰ en -7,4‰.³⁵ Het zuurstof isotopen onderzoek van de M1 van Hilde geeft een gemiddelde $\delta^{18}\text{O}_p$ van 15,7‰. Dit correspondeert met een $\delta^{18}\text{O}$ van regen- en drinkwater van gemiddeld -9,5‰. Dit geeft wederom een bevestiging dat Hilde inderdaad niet in het huidige Nederland geboren is en sluit derhalve volledig aan bij de resultaten van het strontium isotopen onderzoek.

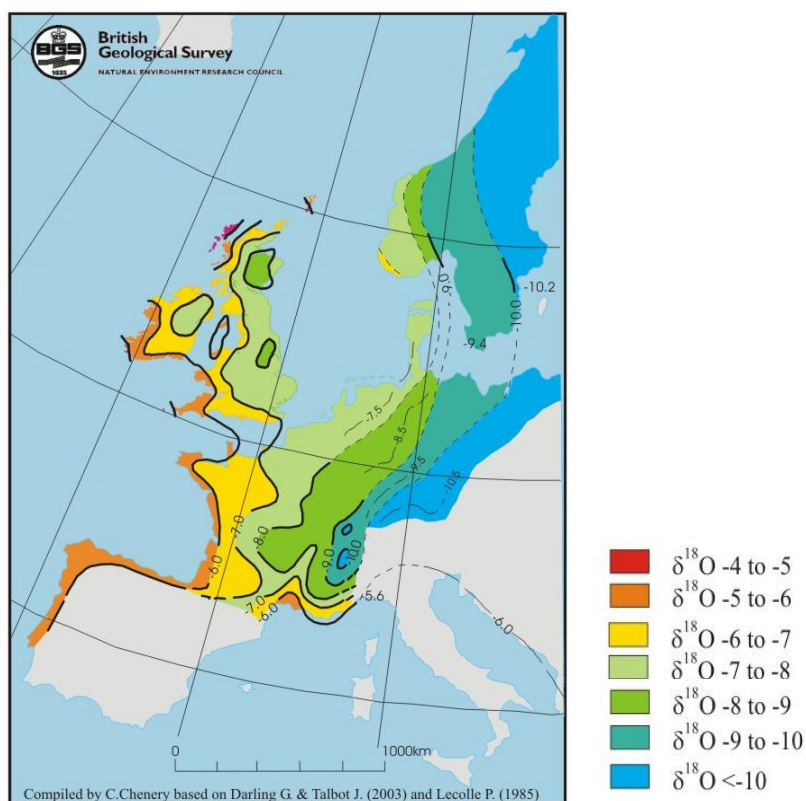
Een $\delta^{18}\text{O}_w$ van -9,5‰ geeft aan dat het mogelijke herkomstgebied van Hilde verder landinwaarts ligt (zie figuur 6). In combinatie met de landelijke data uit de ISOHIS database zijn Ierland, Groot-Brittannië, België en het Iberisch schiereiland uitgesloten als mogelijke herkomstgebied. Derhalve blijft Duitsland als enige mogelijkheid over.

In een publicatie van Bentley en Knipper uit 2005 staat een gedetailleerde $\delta^{18}\text{O}_w$ kaart van Duitsland gepubliceerd. In figuur 7 is de $\delta^{18}\text{O}_w$ data gecombineerd met de geografische locaties van het Paleozoïsch en Mesozoïsch gesteente die een $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ range van 0,71101 – 0,71300 hebben. Op basis van figuur 7 is het zeer goed mogelijk dat Hilde afkomstig is het gebied in oost Duistland waar de huidige deelstaten Saksen en Thüringen gesitueerd zijn.

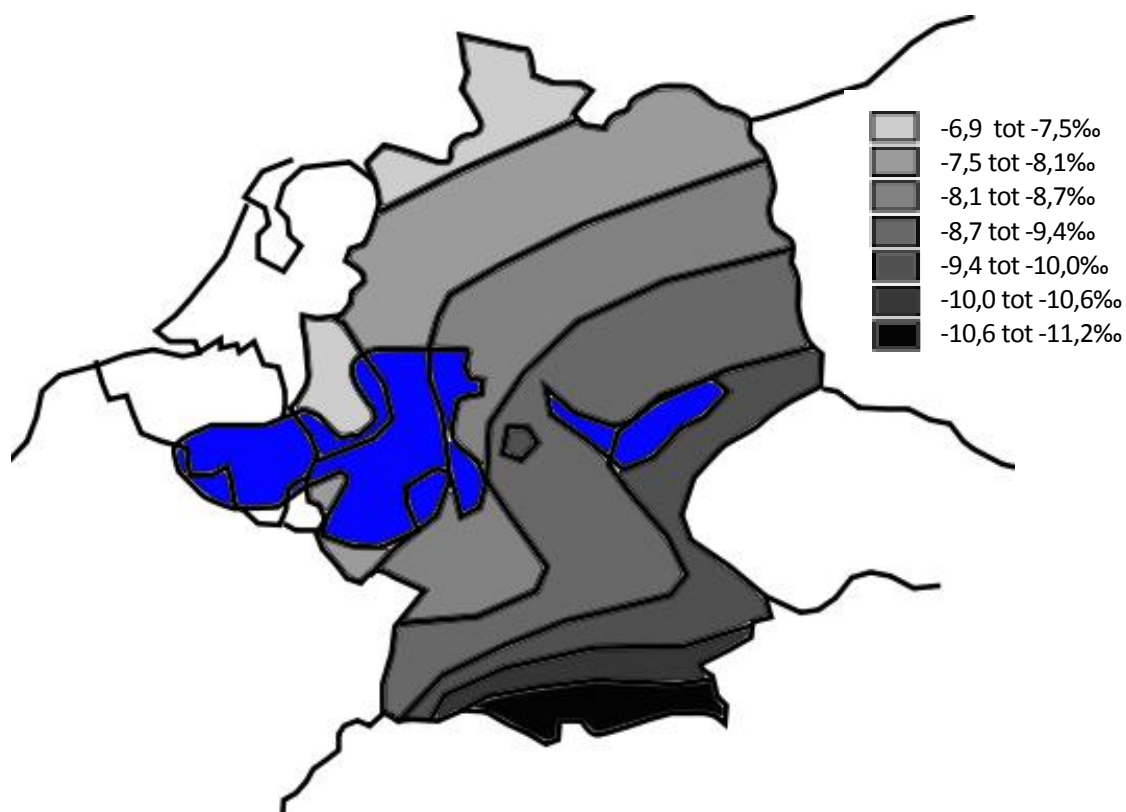
³⁵ ISOHIS database: IAEA/WMO 2004



Figuur 5. Overzicht van de locaties waar gesteente uit het midden en boven Paleozoïcum en metamorf gesteente daterende uit het Mesozoïcum in Europa voorkomt (gebaseerd op Voerkelius et al 2010).



Figuur 6. Zuurstof isotopen waarden voor modern Europees drinkwater. [Gebruikt met goedkeuring van de British Geological Survey. © NERC 2008. Alle rechten zijn voorbehouden. IPR/110-56GCT]



Figuur 7. Overzicht van de $\delta^{18}\text{O}_w$ waarden in Duitsland. De blauwe vlakken representeren het Paleozoïsch en Mesozoïsch gesteente (naar: Bentley & Knipper 2005, Voerkelius et al 2010).

4.3. DNA testonderzoek³⁶

Het doel van het archeologische DNA testonderzoek was het verkrijgen van een indicatie van de kwaliteit van het DNA in de testmonsters en eventuele problemen met contaminerend DNA op de monsters in te schatten.

De resultaten staan in tabel 4.³⁷ Met de kwantificeringstesten is voor vier individuen (één monster per individu) aangetoond dat er humaan celkern DNA aanwezig was in de DNA extracten en van twee van hen is ook de aanwezigheid van het mannelijke Y-chromosoom aangetoond (tabel 4).

Voor zes individuen (één monster per individu), waaronder Hilde, kon een auSTR profiel getypeerd worden. Voor drie van deze monsters is deze test herhaald. De aanwezigheid van het Y-chromosoom in twee monsters, zoals aangetoond met de kwantificeringstest, is met de auSTR typering bevestigd. Voor deze twee monsters kon ook een YSTR profiel getypeerd worden (tabel 4).

Alle vijf de monsters waarvan geen aanwezigheid van celkern-DNA gemeten kon worden en ook geen auSTR profiel van getypeerd kon worden zijn botmonsters. De zes overige monsters waar een DNA extract van gemaakt is, waarvoor wel auSTR profielen getypeerd konden worden, zijn alle gebitselementen. Voor maar vier van deze zes monsters kon ook aanwezigheid van humaan celkern DNA worden gemeten met de kwantificeringstest.

De verkregen profielen van zowel de auSTRs als de YSTRs van individu S5 en de auSTRs van individu S138 wijzen op aanwezigheid van contaminatie van andere personen.

Uit ervaring is gebleken dat eventuele contaminatie vaak een groter probleem vormt bij de analyse van mtDNA dan bij celkern DNA. Om die reden is besloten voorlopig geen mtDNA onderzoek te verrichten op de monsters met de middelen die op dit moment beschikbaar zijn.

Tabel 4. Resultaten DNA testonderzoek.

Spoor	Monster	Kwantificeringssysteem		Typeringssysteem		Geslachtsindicatie
		Celkern-DNA	Y chromosoom	auSTR	YSTR	
3	2	-	-			
4	4	+-	+-	+	+	M
5	5	++	+	+	+	M
6	8	-	-			
8	9	-	-			
9	11	-	-			
9	20	-	-	+		V
17	21	++	-	+		V
138	13	+-	-	+		V
148	16	-	-			
148	22	-	-	+		V

In deze tabel staat aangegeven of er resultaat is behaald met het kwantificeren en het typeren celkern DNA STRs. De grijs gemarkeerde monsternummers zijn de botmonsters. De beoordeling van de kwantificeringssystemen is als volgt: ++ = zeer goed, + = goed, +- = matig, - = slecht/geen concentratie gemeten. De beoordeling van de typeringssystemen is als volgt: + = resultaat, in geval van een negatief resultaat zijn de vakjes leeg gelaten. Indien er een geslachtsindicatie is verkregen wordt deze aangegeven met een V voor vrouwelijk en een M voor mannelijk.

4.4. Koolstof datering (¹⁴C)

Uit eerder onderzoek is gebleken dat het grafveldje meerdere eeuwen in gebruik is geweest. Twee koolstofdateringen van twee inhumaties uit het grafveldje, S5 en S8, leverden identieke data op: 1770 BP ± 40.³⁸ Als deze dateringen geijkt worden met de meest recente versie van het calibratieprogramma INTCAL09 dan leverde dit een datering op van 135-350 AD (2σ, 95% betrouwbaar. Hilde (S148), is ook gedateerd. De

³⁶ Dit DNA onderzoek is uitgevoerd met behulp van methoden waarvoor het FLDO door de Raad voor Accreditatie is geaccrediteerd, tenzij expliciet anders is vermeld. De uitslagen van een archeologisch DNA testonderzoek kunnen niet als definitieve resultaten overgenomen worden. Hiervoor moet replicatie van de resultaten plaats vinden. De verkregen resultaten dienen enkel en alleen voor het verkrijgen van een indicatie van de kwaliteit van het DNA in de archeologische menselijke resten.

³⁷ De monsters die niet zijn gebruikt voor DNA extractie staan niet in de tabel vermeld.

³⁸ GrN 22 577; GrN 22 578

koolstofdatering leverde een datering op van $1750 \text{ BP} \pm 40$.³⁹ Na ijking gaf dit een datering in de periode 240-338 na Chr. (1σ , 68% betrouwbaar), of 210-396 AD (2σ).

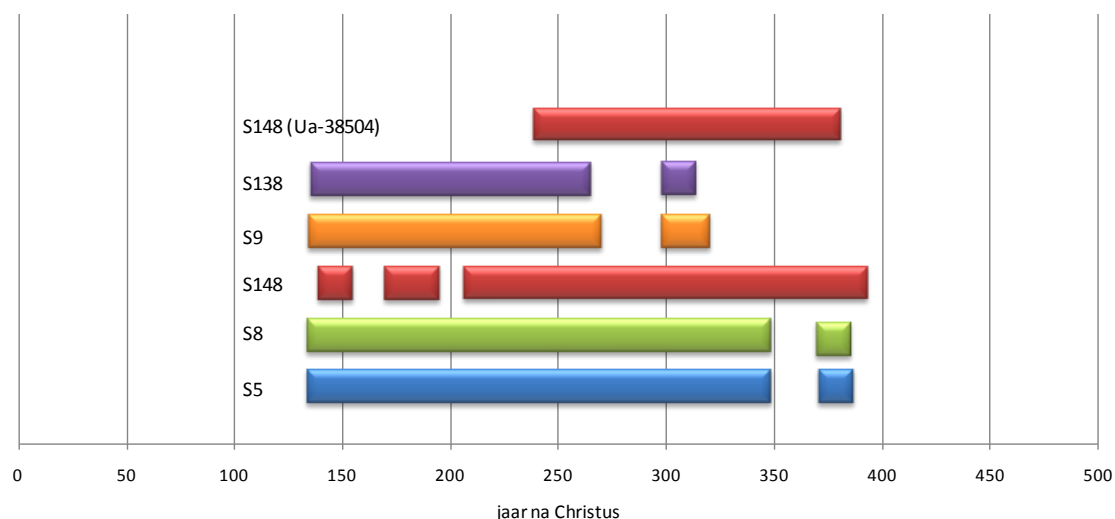
Om meer duidelijkheid te verschaffen over de datering van het grafveld en van Hilde zelf zijn er twee nieuwe dateringen gedaan op S9, S138 en is Hilde (S148) opnieuw gedateerd. De resultaten staan weergegeven in tabel 5 en bijlage 3.

De individuen uit het grafveld (S5, S8 en S9) dateren allen tussen de 130 en 350 AD met meer dan 83% zekerheid, S9 dateert zelfs tussen de 130 en 258 AD. Dit houdt in dat het grafveldje met enige zekerheid halverwege de 2^e, begin 3^e eeuw na Chr. gedateerd kan worden.

De oudere vrouw die naast het grafveld begraven is (S138) dateert ook uit dezelfde periode. Dit kan echter niet gesteld worden voor Hilde, S148. Hilde dateert met 95% zekerheid tussen 240 en 383 AD; halverwege de 3^e tot eind 4^e eeuw.

Figuur 8 illustreert op duidelijke wijze de resultaten (2σ). Hoewel de dateringen van Hilde en de andere individuen deels overlappen, is met enige zekerheid te stellen dat Hilde niet in dezelfde periode geleefd heeft als de individuen in het grafveld. Het is echter niet voor honderd procent uit te sluiten dat de levens van al deze individuen elkaar op een moment in de historie gekruist hebben.

Figuur 8. Resultaten van de koolstofdateringen (2σ).



³⁹ GrN 22 576

Tabel 5. Resultaten van de koolstofdateringen.

Individu	ID nummer	¹⁴ C ouderdom BP	Gecalibreerde ouderdom	
			1σ	2σ
S5	GrN 22 577	1770 ± 40	218-266 AD (29%) 271-336 AD (39%)	135-350 AD (90%) 369-380 AD (5%)
S8	GrN 22 578	1770 ± 40	218-266 AD (29%) 271-336 AD (39%)	135-350 AD (90%) 369-380 AD (5%)
S148	GrN 22 576	1750 ± 40	240-338 AD (68%)	140-151 AD (5%) 170-194 AD (10%) 210-396 AD (80%)
S9	Ua-38502	1805 ± 30	139-159 AD (16%) 166-196 AD (24%) 209-244 AD (28%)	130-258 AD (83%) 299-319 AD (12%)
S138	Ua-38503	1817 ± 30	138-197 AD (46%) 209-236 AD (22%)	128-256 AD (90%) 306-313 AD (5%)
S148	Ua-38504	1736 ± 30	255-308 AD (45%) 311-338 AD (21%)	240-383 AD (95%)

5. Discussie

Op basis van het isotopen onderzoek is gebleken dat de onderzochte Romeinse individuen uit Castricum Oosterbuurt een min of meer identiek voedselpatroon hebben gehad, waarbij de nadruk duidelijk op een terrestrisch dieet heeft gelegen. Vis speelde derhalve een kleinere rol in de voedselproductie. Het strontium en zuurstof isotopen onderzoek hebben meer inzicht kunnen geven in de mogelijke herkomst van Hilde: de buikbegroaving die enkele honderden meters buiten het grafveldje in een ondiepe kuil ten ruste was gelegd.

Op basis van het strontium en zuurstof onderzoek is met redelijke zekerheid te concluderen dat Hilde afkomstig is uit oost Duitsland; uit de regio van de huidige deelstaten Saksen en Thüringen. Niet alleen kan een Duitse komaf geconcludeerd worden uit de isotopen onderzoek, ook is er volop archeologisch en historisch bewijs te vinden dat er vroeger duidelijke banden met het oosten waren.

Tijdens het archeologisch onderzoek zijn er meer dan 400 metaalvondsten geborgen. Een absoluut unicum voor een vindplaats uit de Romeinse tijd en gelegen buiten de grenzen van het Romeinse Rijk in Nederland of aangrenzend Duitsland.

De vondsten kunnen grofweg in twee groepen worden verdeeld; voorwerpen van inheems-Germaanse makelij en voorwerpen die binnen de grenzen van het Romeinse Rijk werden geproduceerd. De Germaanse vondsten dateren uit de 1^e tot en met de 5^e eeuw AD, hoewel het aantal artefacten uit de 3^e, 4^e en 5^e eeuw AD duidelijk het onderspit delft ten opzichte van de hoeveelheid voorwerpen uit de eerste en tweede eeuw. Naast verscheidene fibulae en siernaalden is er tevens een complete bronzen schaar gevonden. Vergelijkbare bronzen scharen zijn vooral bekend als bijgift in rijke Germaanse graven in het Europese barbaricum ten oosten van de Elbe.⁴⁰ Ook de andere metalen artefacten vertonen grote parallellen met de rest van het barbaricum tussen de Elbe en de Rijn. Dit is een eerste aanwijzing dat er contacten zijn geweest tussen Romeins Castricum en het Germaanse gebied tussen de rivieren de Rijn en de Elbe.

Ook het halssnoer van Hilde geeft meer informatie over haar herkomst. Om de nek van Hilde zijn de 69 glazen kralen gevonden van het halssnoer waarmee zij begraven is. Het snoer is opgebouwd uit 12 dubbelconische kralen en 57 zogenoemde *Überfangperlen*. De laatstgenoemde kralen zijn gemaakt van doorschijnende witte glaspasta, gevuld met goudfolie.

Halssnoeren van *Überfangperlen* zijn regelmatig teruggevonden in grafcontexten in onder andere Engeland, België en Duitsland. Halssnoeren met *Überfangperlen* en rode bikonen zijn echter uniek en niet veel vaker gevonden.

Daar glazen bikonische kralen vrij zeldzaam zijn, is er wel veel bekend over de locaties waar de Romeinen hun glas en ook *Überfangperlen* produceerden. Het Rijnland was het kloppend hart van de Romeinse glas productie. Uit deze specifieke regio zijn veel verschillende typen glas afkomstig, waarbij Trier en Keulen belangrijke centra vormden.⁴¹ Het productiecentrum in Trier produceerde zelfs enkel en alleen glazen kralen.⁴² Waar in de Romeinse tijd de rode bikonische kralen geproduceerd werden is niet bekend. Wel is bekend dat in de daaropvolgende eeuwen in zuidwest Duitsland rode bikonische kralen werden geproduceerd en komen dit type rode kralen in het gebied van de Nederrijn voor het eerst voor in de 6^e eeuw AD.⁴³

Tot slot kunnen de historische bronnen ons ietwat meer vertellen over de samenstelling van de populatie in Noord-Holland in de vijfde en zesde eeuw AD. Vanaf de 4^e eeuw is er een duidelijke Frankische (ten oosten van de Rijn) invloed te merken in Noord-Holland. De Friezen van het land raken in hun culturele identiteit kwijt en worden door de Romeinen in geschreven bronnen door als Saksen of (in Noord-Holland) Franken aangeduid.⁴⁴ Dit kan een aanwijzing zijn dat de streek rondom Castricum sterk aan migratie onderhevig was. Derhalve kan Hilde een voorbode of een weerslag zijn van een belangrijke culturele beïnvloeding van Noord-

⁴⁰ Erdrich 1999

⁴¹ Swift 2003

⁴² Swift 2000

⁴³ Sablerolles 1999

⁴⁴ zie o.a. Hiddink 1999

Holland. Het feit dat zij op haar buik begraven is, ligt in lijn met de bovenstaande interpretatie (zie paragraaf 2.2)

6. Conclusies

Er is met succes bioarcheologisch onderzoek verricht op een aantal individuen uit de opgraving te Castricum, plangebied Oosterbuurt, met als doel meer te weten te komen over de bewoners van 3^e en 4^e eeuws Noord-Holland. Daartoe zijn van maximaal acht individuen bot- en/of tandmonsters genomen voor respectievelijk dieetreconstructie, herkomststudie, DNA testonderzoek en koolstof datering. In het bijzonder is de aandacht gevestigd op Hilde, S148; een jonge vrouw die buiten het grafveld op haar buik in een ondiepe kuil begraven is. Er is getracht te onderzoeken wie Hilde precies was en waar zij vandaan kwam.

Het paleodieet van acht individuen en twee dieren is door middel van koolstof en stikstof isotopen geanalyseerd. Het dieet van de Castricommers is vergelijkbaar met het C3 terrestisch dieet, waarbij de consumptie van vlees domineert over de consumptie van vis of waterdieren.

Het dieet van één individu, S6 (geslacht onbekend), valt buiten de geschatte waarden voor een C3 terrestisch gebaseerd dieet. Het aandeel vis is bij dit individu mogelijk hoger geweest dan bij de andere individuen, waardoor de $\delta^{13}\text{C}$ waarde minder negatief is. Verschillen tussen de resultaten van Hilde (S148) en de overige individuen uit het grafveldje zijn er niet. Allen hebben een soortgelijk dieet genuttigd, met vlees en andere dierlijke producten als hoofdcomponent.

Waar verschillen tussen de individuen uitbleven bij de reconstructie van het dieet, zijn er wel verschillen aangetroffen bij het strontium isotopen onderzoek. Het doel van het herkomstonderzoek was om te onderzoeken of Hilde (S148) een immigrante is geweest, hetgeen een mogelijke verklaring zou kunnen geven voor het feit dat zij op haar buik in een ondiepe kuil begraven is. Daartoe zijn er in totaal negen monsters genomen van drie individuen; S148 (Hilde), S138 (vrouw buiten grafveld) en S9 (vrouw in grafveld) respectievelijk. Van de drie individuen zijn er monsters genomen van het tandglazuur van de 1^e molaar en uit het bovenbeen (*femur*).

Het strontium signaal uit het tandglazuur als uit het bot van individuen S9 en S138 zijn vrijwel identiek aan elkaar. Dit houdt in dat beide individuen in eenzelfde geologisch gebied zijn opgegroeid als zijn overleden. De resultaten van de analyses op het tandglazuur en het bot van Hilde (S148) zijn bijzonder te noemen. De $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ waarde van het tandglazuur indiceert zonder twijfel dat Hilde een immigrante is geweest. De $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ waarde van het tandglazuur duidt op een oude geologische ondergrond en valt binnen de range die indicatief is voor enerzijds gesteente uit het midden en boven Paleozoïcum en anderzijds voor metamorf gesteente uit het Mesozoïcum. Gesteente van deze ouderdom komt voor in Ierland, de westkust van Groot Brittannië, Duitsland oostwest België en op kleinere schaal op het Iberisch schiereiland en Frankrijk.

De $\delta^{18}\text{O}_w$ waarde van Hilde van $-9,5\text{‰}$ geeft meer inzicht in haar herkomst. Op basis van het zuurstof isotopen onderzoek kunnen de westkust van Groot Brittannië, oostwest België en het Iberisch schiereiland en Frankrijk uitgesloten worden als mogelijk herkomstgebied. Op basis van alleen de strontium en zuurstof isotopen analyse is met enige zekerheid te concluderen dat Hilde oorspronkelijk uit het oosten van Duistland afkomstig is. Deze conclusie wordt ondersteund door het vele archeologische bewijs en de historische context.

Van zes van de negen individuen kon met succes het celkern DNA getypeerd worden (individuen 4, 5, 9, 17, 138 en 148). De verkregen auSTR profielen zijn ook van zodanige kwaliteit dat de monsters zeker in aanmerking komen voor verder onderzoek, afgezien van de twee individuen waar indicatie voor contaminatie in is gevonden (individuen 5 en 138). De auSTR en YSTR profielen kunnen bevestigd worden en het mitochondriale DNA kan getypeerd worden.

Celkern DNA kon alleen getypeerd worden voor de gebitselementen, de botfragmenten gaven geen resultaat terwijl er voor twee individuen zowel een gebitselement als een botfragment is onderzocht. Het is mogelijk dat er nog wel mitochondriaal DNA getypeerd kan worden in de botmonsters⁴⁵. Dit zou het

⁴⁵ Omdat er veel meer kopieën van mitochondriaal DNA dan celkern DNA in een humane cel aanwezig zijn is het mogelijk dat er nog wel genoeg mitochondriaal DNA aanwezig is om te typen, terwijl er niet genoeg celkern DNA meer aanwezig is.

mogelijk maken om verwantschap in de vrouwelijk lijn te onderzoeken voor de individuen waar alleen botmonsters voor beschikbaar zijn (individuen 3, 6 en 8).

Om meer duidelijkheid te verschaffen over de datering van het grafveld zijn er twee nieuwe dateringen gedaan op S9, S138 en is Hilde (S148) opnieuw gedateerd. De individuen uit het grafveld dateren allen tussen de 130 en 350 AD met meer dan 83% zekerheid, S9 dateert zelfs tussen de 130 en 258 AD.

Dit houdt in dat het grafveldje met enige zekerheid halverwege de 2^e, begin 3^e eeuw na Chr. gedateerd kan worden. De oudere vrouw die naast het grafveld begraven is (S138) dateert ook uit dezelfde periode. Dit kan echter niet gesteld worden voor Hilde, S148. Hilde dateert met 95% zekerheid tussen 240 en 383 AD. Hoewel de dateringen van Hilde en de andere individuen voor een klein deel overlappen, is met enige zekerheid te stellen dat Hilde niet in dezelfde periode geleefd heeft als de individuen in het grafveld.

7. Aanbevelingen

Van zes van de negen individuen kon met succes het celkern DNA getypeerd worden (individueen 4, 5, 9, 17, 138 en 148). De verkregen auSTR profielen zijn ook van zodanige kwaliteit dat de monsters zeker in aanmerking komen voor verder onderzoek, afgezien van de twee individuen waar indicatie voor contaminatie in is gevonden (individueen 5 en 138). De auSTR en YSTR profielen kunnen bevestigd worden en het mitochondriale DNA kan getypeerd worden. Het FLDO beschikt inmiddels over de benodigde methoden voor dit onderzoek.

Celkern DNA kon alleen getypeerd worden voor de gebitselementen, de botfragmenten gaven geen resultaat terwijl er voor twee individuen zowel een gebitselement als een botfragment is onderzocht. Het is mogelijk dat er nog wel mitochondriaal DNA getypeerd kan worden in de botmonsters (individueen 3, 6 en 8).

Door het combineren van informatie uit het celkern DNA, inclusief Y-chromosoom DNA, en uit het mitochondriale DNA kan onderzocht worden of er sprake is, en zo ja, op welke manier er sprake is van verwantschap tussen de individuen in het grafveld en van sporen 138 en 148.

Door de autosomale profielen te bevestigen kan onderzocht worden of er sprake is van directe verwantschap, dus binnen een kort tijdsbestek. Hierbij moet gedacht worden aan ouder-kind relaties. Deze relaties zijn over het algemeen met grote zekerheid te bevestigen of uit te sluiten (afhankelijk van de hoeveelheid autosomale STRs die per individu getypeerd kunnen worden en dus vergeleken kunnen). Directe verwantschap in de zin van bijvoorbeeld broers-zussen of grootouders-kleinkinderen kunnen vaak niet met grote zekerheid bevestigd of ontkend worden, maar de kans op verwantschap ten opzichte van de kans op geen verwantschap kan wel berekend worden. Hiermee kan meer inzicht verkregen worden in de periode waarin de individuen begraven zijn en of zij al dan niet gelijktijdig hebben geleefd.

Met behulp van de Y-chromosomale profielen kan gekeken worden naar verwantschap in de mannelijke lijn binnen het grafveld; zowel voor verwantschap binnen een kort tijdsbestek als voor verwantschap over meerdere generaties. Voor dit specifieke grafveld betekent dat, dat wanneer er geen indicatie is voor verwantschap op basis van het autosomale DNA, het wel mogelijk is om verwantschap over een langere periode via de mannelijke lijn te onderzoeken. Hetzelfde geldt voor het mitochondriale DNA waarmee verwantschap via de vrouwelijke lijn ook zowel voor het onderzoeken van directe verwantschap als verwantschap over langere periode gebruikt kan worden.

8. Dankwoord

Multidisciplinaire projecten vereisen kennis van verschillende vakgebieden. Dit specifieke project heeft derhalve niet tot stand kunnen komen zonder de hulp van een groot aantal mensen.

Allereerst wil ik Rob van Eerden, provinciaal archeoloog van de Provincie Noord-Holland, bedanken voor het bieden van deze unieke mogelijkheid om oud onderzoek uit de kast te halen en Hilde nieuw leven in te blazen. Maar naast het creëren van het onderzoekskader heeft Rob inhoudelijk ook bijzonder veel bijgedragen bij de interpretatie van de gegevens en het verder onderzoeken van voor ons beiden onbewandelde gebieden. Al met al is Rob een fantastische *sparring partner* gebleken die het inhoudelijke niveau alleen maar heeft weten te verhogen.

Daarnaast wil ik dr. Gareth Davies bedanken voor zijn waardevolle en nuttige hulp bij het interpreteren van de strontium data.

Tot slot is de hulp ingeschakeld van vele specialisten: Wil van der Sluijs wordt hartelijk bedankt voor haar nuttige op- en aanmerkingen met betrekking tot de herkomst van de kralen uit de halssnoer van Hilde. Tot slot wil ik Erik Cordfunke bedanken voor zijn advies aangaande de interpretatie van de koolstofdateringen.

Referenties

Arcini, C., 2009. Buried face down. *Current Archaeology* 231, 30-35

Arts, N., & Nollen, J., 2006. *Een bed van botten. A bed of bones. Het archeologisch onderzoek van de middeleeuwse Catharinakerk in Eindhoven in Beeld. The archaeological investigation of the medieval Church of St.Catharine in Eindhoven a story in Picture*. Adr. Heinen uitgevers: 's-Hertogenbosch, pp. 204

Baetsen, S., 2010. Fysisch antropologisch onderzoek. In: H.A.P. veldman & E. Blom (eds.) *Onder de zoden van Zaltbommel. Een rurale nederzetting en een grafveld uit de Romeinse tijd in het plangebied De Wildeman*, ADC Monografie 8, 233-248

Bentley, R.A., Price, T.D. en Stephan, E., 2004. Determining the 'local' $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ range for archaeological skeletons: a case study from Neolithic Europe. *Journal of Archaeological Science* 31, 365-375

Bentley, R.A., & Knipper, C., 2005. Geographical patterns in biologically available strontium, carbon and oxygen signatures in prehistoric SW Germany, *Archaeometry* 47 (3), 629–644

Bentley, R.A., 2006. Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: A review. *Journal of Archaeological Method and Theory* 13 (3), 135-187

Bryant, J.D., Froelich, P.N., Showers, W.J. & Genna, B.J., 1996. A tale of two quarries: Biologic and toponomic signatures in oxygen isotope composition of tooth enamel phosphate from modern and Miocene Equids. *Palaïos* 11, 397-408

Cuijpers, A.G.F.M. & Robb, J., 1999. Onderzoek van mendelijk botmateriaal. In: (Hagers & Sier eds.) *Castricum-Oosterbuurt, bewoningssporen uit de Romeinse tijd en middeleeuwen*. ROB Rapportage Archeologische Monumentenzorg 53, 153-159

Dansgaard, W., 1964. Stable isotopes in precipitation, *Tellus* 16, 436-468

Daux, V., Lécuyer, C., Héran, M-A, Amiot, R., Simon, L., Fourel, F., Martineau, F., Lynnerup, N., Reyher, H. & Escarguel, G., 2008. Oxygen isotope fractionation between human phosphate and water revisited, *Journal of Human Evolution* 55, 1138–1147

DeNiro, M. J., 1985. Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature* 317, 806–809

Eckardt, H., Chenery, C., Booth, P., Evans, J.A., Lab, A. & Müldner, G., 2009. Oxygen and strontium isotope evidence for mobility in Roman Winchester. *Journal of Archaeological Science* 36, 2816-2825

Erdreich, M. 1999. Onderzoek van mendelijk botmateriaal. In: (Hagers & Sier eds.) *Castricum-Oosterbuurt, bewoningssporen uit de Romeinse tijd en middeleeuwen*. ROB Rapportage Archeologische Monumentenzorg 53, 153-159

Guido, M., 1978. *The Glass Beads of the Prehistoric and Roman Periods in Britain and Ireland*. Society of Antiquaries of London, London.

Hagers, J-K.A. & Sier, M.M. 1999. *Castricum-Oosterbuurt, bewoningssporen uit de Romeinse tijd en middeleeuwen*. ROB Rapportage Archeologische Monumentenzorg 53, pp 320

- Hedges, R.E.M. & Reynard, L.M., 2007. Nitrogen isotopes and the trophic level in archaeology. *Journal of Archaeological Science* 34, 1240 – 1251
- Hiddink, H.A., 1999. Germaanse samenlevingen tussen Rijn en Weser : 1^e eeuw voor 4^e eeuw na Chr. Proefschrift Universiteit van Amsterdam, pp. 352
- Hillson, S., 1986. *Teeth*. Cambridge University Press, Cambridge
- Hillson, S., 1997. *Dental Anthropology*. Cambridge University Press, Cambridge
- Iacumin, P., Bocherens, H., Mariotti, M. & Longinelli, A., 1996. An isotopic palaeoenvironmental study of human skeletal remains from the Nile Valley. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 126, 15-30
- IAEA/WMO, 2004. Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. URL (bezocht mei 2011): http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/GNIP/IHS_GNIP.html
- Majoube M., 1971. Fractionnement en oxygen et en deuterium entre l'eau et sa vapeur. *Journal de Chimie et de Physique* 68, 1423
- Mays, S., 2000. Human Osteology in Archaeology and Forensic Science. New directions in the analysis of stable isotopes in excavated bones and teeth. Cambridge University Press.
- Montgomery, J., Evans, J.A. & Wildman, G., 2006. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr isotope composition of bottled British mineral waters for environmental and forensic purposes. *Applied Geochemistry* 21, 1626-1634
- O'Connel, T.C. en Lawler, A., 2006. Carlton Colville Report for CAU Monograph November 2006 -1. Stable Isotope analysis of human and faunal remains from the Anglo – Saxon cemetery at Carlton Colville, Suffolk
- Palmer, M.R. & Edmond, J.M., 1989. The strontium isotope budget of the modern ocean. *Earth and Planetary Science Letters* 92, 11-26
- Private, K.L., O'Connel, T.C. & Richards, M.P., 2002. Stable isotope analysis of faunal and human remains from the Anglo – Saxon cemetery at Berinsfield, Oxfordshire: dietary and social implications. *Journal of Archaeological Science* 29, 779 – 790
- Sablerolles, Y. 1999. Beads of glass, faience, amber, baked clay and metal, including production waste from glass and amber bead making. In: J.C. Besteman, J.M. Bos, D.A. Gerrets & J. de Koning (eds.) *The excavations at Wijnaldum. Reports on Frisia in Roman and Medieval times*, volume 1, 253-285
- Schoeller, D.A., 1999. Isotope fractionation: why aren't we what we eat? *Journal of Archaeological Science* 26, 667-673
- Sharp, Z., 2007. *Principles of Stable Isotope Geochemistry*. Pearson Prentice Hall: New Jersey
- Smits, E. 2006. Leven en sterven langs de Limes. Het fysisch-antropologisch onderzoek van vier grafveldpopulaties uit de noordelijke grenszone van Germania Inferior in de Vroeg- en Midden-Romeinse tijd. Academisch proefschrift, Universiteit van Amsterdam, pp. 231
- Stevens, A. & J. Lowe, 1997. Human Histology. 2e editie, Mosby, London
- Swift, E., 2000. Regionality in dress accessories in the late Roman West, *Monogr Instrumentum* 11 (Montagnac)
- Swift, E., 2003. *Roman dress accessories*. Gutenberg Press, Malta
- Vennemann, T.W., Fricke, H.C., Blake, R.E., O'Neil, J.R & Colman, A, 2002. Oxygen isotope analysis of phosphates: a comparison of techniques for analysis of Ag₃PO₄. *Chemical Geology* 185, 321– 336

Wright, L. E. & Schwarcz, H.P., 1998. Stable carbon and oxygen isotopes in human tooth enamel: Identifying breastfeeding and weaning in Prehistory. *American Journal of Physical Anthropology* 106, 1-18.

Voerkelius, S., Lorenz, G.D, Rummel, S., Quétel, C.R., Heiss, G., Baxter, M., Brach-Papa, C., Deters-Iltzelsberger, P., Hoelzl, S., Hoogewerff, J., Ponzevera, E., Van Bocxstaele, M., Ueckermann, H., 2010. Strontium isotopic signatures of natural mineral waters, the reference to a simple geological map and its potential for authentication of food. *Food Chemistry* 118, 933–940

Bijlage 1 – Dieetreconstructie

'Je bent wat je eet': koolstof (C) en stikstof (N) isotopen uit menselijk weefsel zijn een reflectie van de isotoopwaarden van het geconsumeerde voedsel en de fractionatie daarvan door het afleggen van de fysiologische weg door het menselijk lichaam. Omdat de verschillen zo klein zijn en om groepen onderling te kunnen vergelijken worden isotoopwaarden uitgedrukt in ratio's in promille (‰) ten opzichte van de internationale standaard Pee Dee Belemnite (PDB) voor koolstof en de standaard atmosferische waarde voor stikstof. Isotoopwaarden worden uitgedrukt in radio's door middel van een deltanotatie (δ) volgens de volgende berekeningen (McKinney et al., 1950):

$$\delta^{15}\text{N} = \frac{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{monster}} - (^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{air}}}{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{air}}} \times 1000$$

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{monster}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{PDB}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{PDB}}} \times 1000$$

Stikstof en koolstof isotopen geven in de eerste plaats een indicatie van trofisch niveau. Met trofisch niveau wordt de plaats in de voedsel keten bedoeld. Binnen bijvoorbeeld een terrestrische ecosysteem, staan de primaire producenten (planten) onderaan de voedselketen, gevolgd door de herbivoren en daarna de carnivoren. Per stap in de voedselketen vind er een aanrijking in $\delta^{15}\text{N}$ en $\delta^{13}\text{C}$ plaats. Dit trofisch niveau signaal is het meest uitgesproken in $\delta^{15}\text{N}$. Voor zoogdieren is het bekend dat er een aanrijking in $\delta^{15}\text{N}$ van 3‰ per hoger trofisch niveau plaats vindt (Hedges & Reynard, 2006). Aangenomen wordt dat dit voor mensen vergelijkbaar is. Hoewel de exacte waarde hiervoor niet bekend is.

De aanrijking van $\delta^{13}\text{C}$ per trofisch niveau staat nog ter discussie. Uit een studie van Koch et al., (1994) bleek dat een waarde van 5‰ per trofisch niveau niet onredelijk was. Schoeninger en De Niro (1984) vonden echter dat er soms minder dan 1‰ verschil zat tussen opeenvolgende trofische niveaus. Over het algemeen wordt uitgegaan van een aanrijking van 1‰ per trofisch niveau.

De mate van aanrijking in $\delta^{15}\text{N}$ met name, geeft dus een idee over de hoeveelheid van consumptie van plantaardig (groenten, fruit, granen) en dierlijk voedsel (vlees, melk, eieren). En wellicht of er vis of ander marien voedsel in het dieet is opgenomen. Koolstof isotopen kunnen bovendien onderscheid maken tussen bepaalde plantengroepen die geconsumeerd zijn. Er zijn drie plantengroepen met specifieke isotoopwaarden. Dit zijn 1) mariene planten, 2) C3 terrestrische en 3) C4 terrestrische planten. Mariene planten zijn verrijkt in $\delta^{13}\text{C}$ ten opzichten van C3 terrestrische vegetatie. C4 planten zijn op hun beurt weer isotopisch zwaarder dan C3 en mariene planten. In West-Europa zijn van nature bijna alleen C3 planten aanwezig. C4 Planten komen oorspronkelijk uit tropische gebieden, voorbeelden hiervan zijn savanne grassen en maïs.

Bijlage 2 – Herkomstonderzoek

Strontium heeft vier natuurlijk voorkomende isotopen: ^{84}Sr (0.56%), ^{86}Sr (9.87%), ^{88}Sr (82.53%) en ^{87}Sr (7.04%). In tegenstelling tot ^{87}Sr , dat gevormd wordt door het β -verval van rubidium-87 zijn de eerste drie zijn niet-radioactief. Het radioactieve verval van ^{87}Rb wordt beschreven door de formule:

$$^{87}\text{Rb} = ^{87}\text{Rb}_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

met ' λ ' als de verval constante ($1.42 \times 10^{11} \text{ jr}^{-1}$), en $^{87}\text{Rb}_0$ de initiële hoeveelheid en ' t ' de tijd.

Dit verval produceert het dochterelement ^{87}Sr , dit neemt toe in dezelfde maat als ^{87}Rb afneemt:

$$^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Sr}_0 + ^{87}\text{Rb}_0 - ^{87}\text{Rb}_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

met $^{87}\text{Sr}_0$ als de initiële hoeveelheid ^{87}Sr op tijdstip $t=0$.

Om de hoeveelheid ^{87}Sr in verschillende monsters te kunnen vergelijken worden deze genormaliseerd naar non-radioactief ^{86}Sr ; dit middelt de variaties in totale Sr uit, zodat we de verschillen in ^{87}Sr als resultaat van verval van ^{87}Rb kunnen vergelijken. Als we alle hoeveelheden in formule (2) delen door ^{86}Sr en vervangen in formule (1) dan volgt de formule:

$$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = \frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}_0} + \frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} * (e^{\lambda t} - 1) \quad (3)$$

(Bentley, 2006)

Strontium isotopen signaturen ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) worden van geërodeerd geologisch materiaal via bodems en de voedselketen opgenomen in bot- en tandmateriaal, door middel van substitutie van calcium door strontium in de minerale fractie van het skelet (Bentley, 2006). De tijdsperiode waarin strontium uit gesteenten en via bodems in vegetatie en fauna uiteindelijk de mens bereikt is zo klein in vergelijking met de half-life time van ^{87}Rb (49 miljard jaar) dat dit niet van invloed is op de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio van de verschillende componenten. Ook kunnen kinetische en evenwichts fractionatie verwaarloosd worden doordat Sr een hoge atoommassa heeft (Bentley *et al.* 2004). Bovendien wordt elke mogelijke fractionatie binnen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ gecorrigeerd tijdens massaspectrometrie door een routine normalisatie tot de constante $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio van 8.37521 (Bentley, 2006).

De $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio in gesteenten wordt bepaald door:

1. de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio tijdens de kristallisatie van het gesteente;
2. de $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ ratio en
3. de tijd sinds formatie van het gesteente.

Het strontiumsignaal in skeletmateriaal is echter zelden enkel afkomstig van alleen de directe geologische eenheid waarin een individu (tijdelijk) heeft geleefd. De verwerking van gesteenten, de hydrologische cyclus dat strontium transporteert en de biopurificatie van strontium tot bodems, planten, dieren en uiteindelijk de mens zorgen voor een mix van strontiumbronnen. Ook diagenese kan het strontiumsignaal beïnvloeden (Bentley, 2006). Zo kan bijvoorbeeld de invloed van grondwater het $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ signaal verstoren.

Om die redenen is het van groot belang voor deze methode om het isotopen signatuur van het monster te koppelen aan het biologisch beschikbare isotopensignaal van het veronderstelde herkomstgebied.

De strontium isotopen ratio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) van het monster reflecteert het gemiddelde van al het aanwezige strontium. De $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio van monsters van verschillende materialen wordt meestal geplot ten opzichte van de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ van zeewater. Erosie en verwerking zorgen voor een constante aanvoer van sediment van continenten naar de oceanen, daarom is de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio van zeewater representatief voor de verwerende continentale korst.

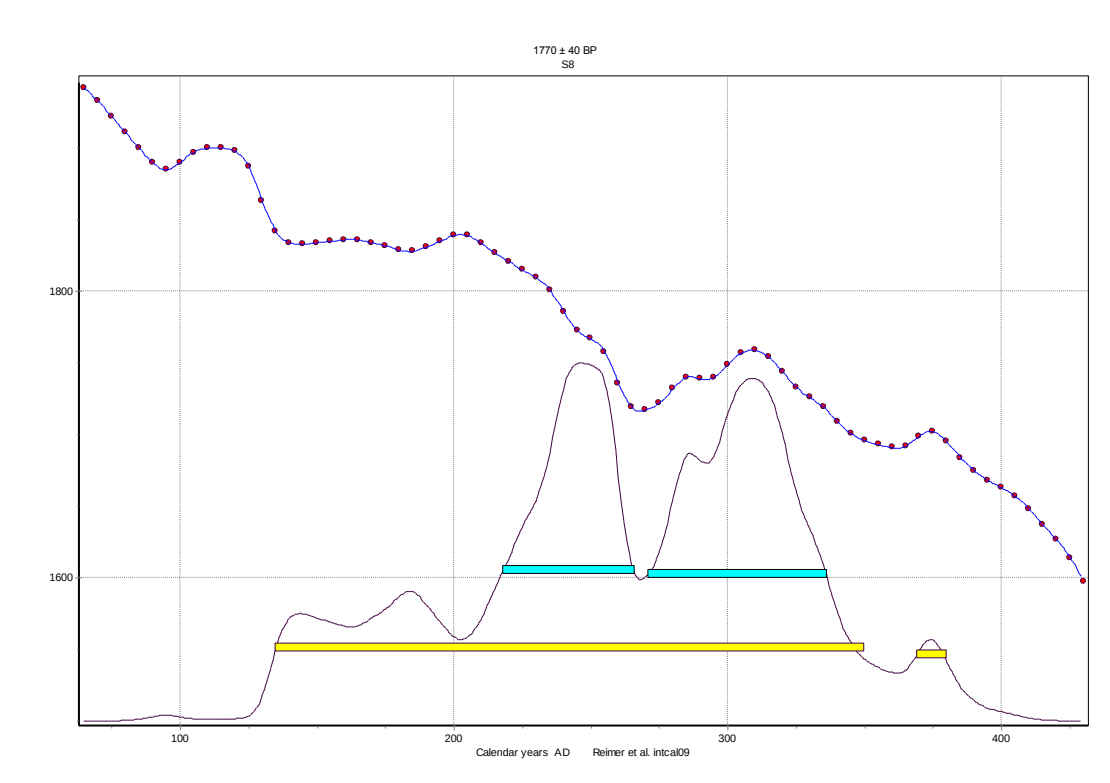
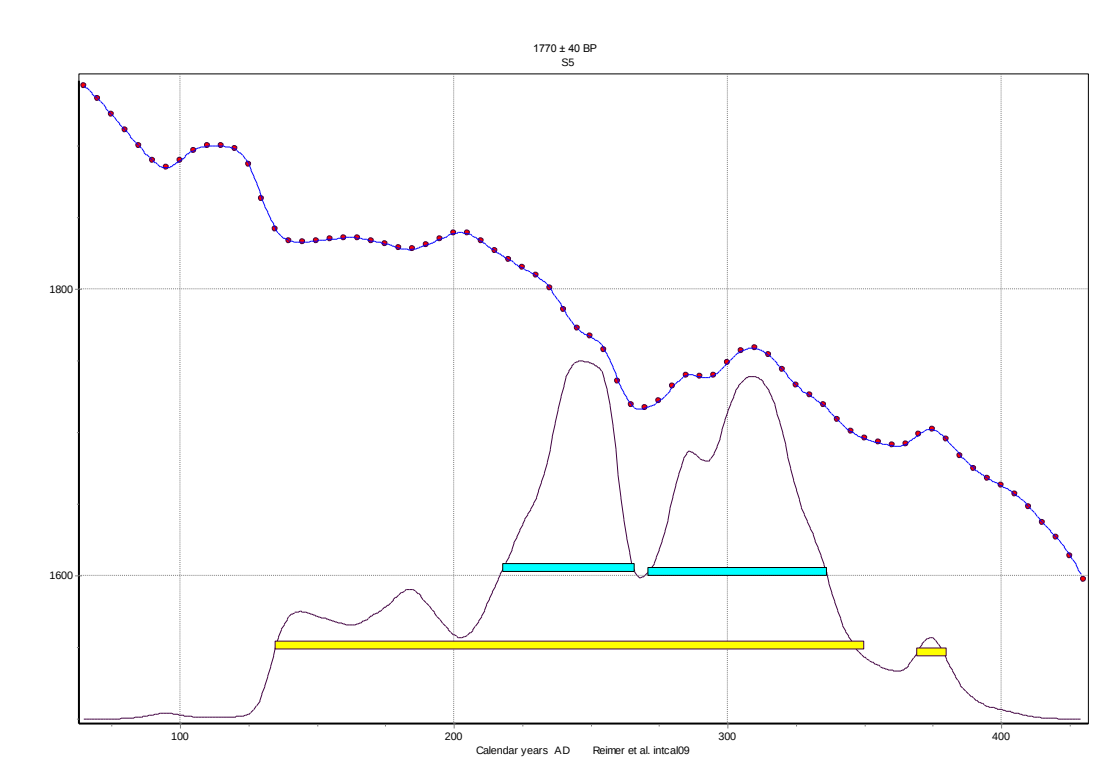
Zuurstof heeft drie stabiele isotopen: ^{16}O (99,76%), ^{17}O (0,04%) en ^{18}O (0,20%). De $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio (uitgedrukt in $\delta^{18}\text{O}$) wordt tijdens de groei in het menselijk lichaam opgenomen uit zowel het drinkwater (al dan niet verrijkt door metabolisme), de atmosferische O_2 als uit zuurstof in voedsel (Bryant *et al.* 1996). Deze componenten worden op hun beurt bepaald door de klimaatzone waarin we leven. Zo wordt de $\delta^{18}\text{O}$ waarde van drinkwater beïnvloed door temperatuur (vochtigheid), afstand van de kust, hoogte, breedtegraad en andere aspecten van

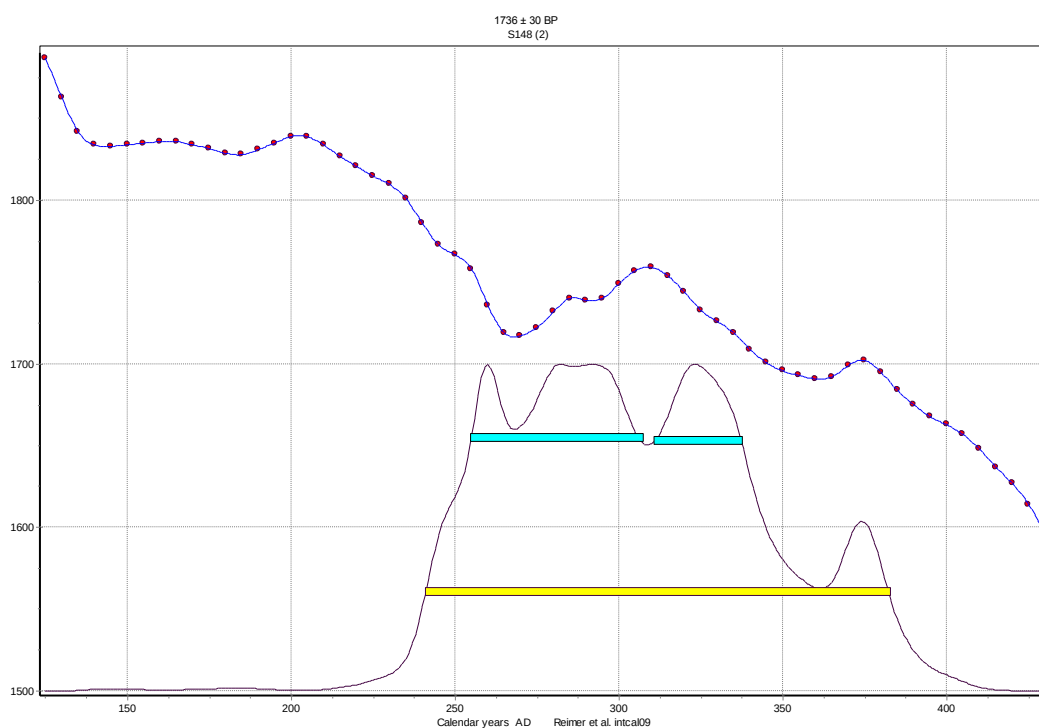
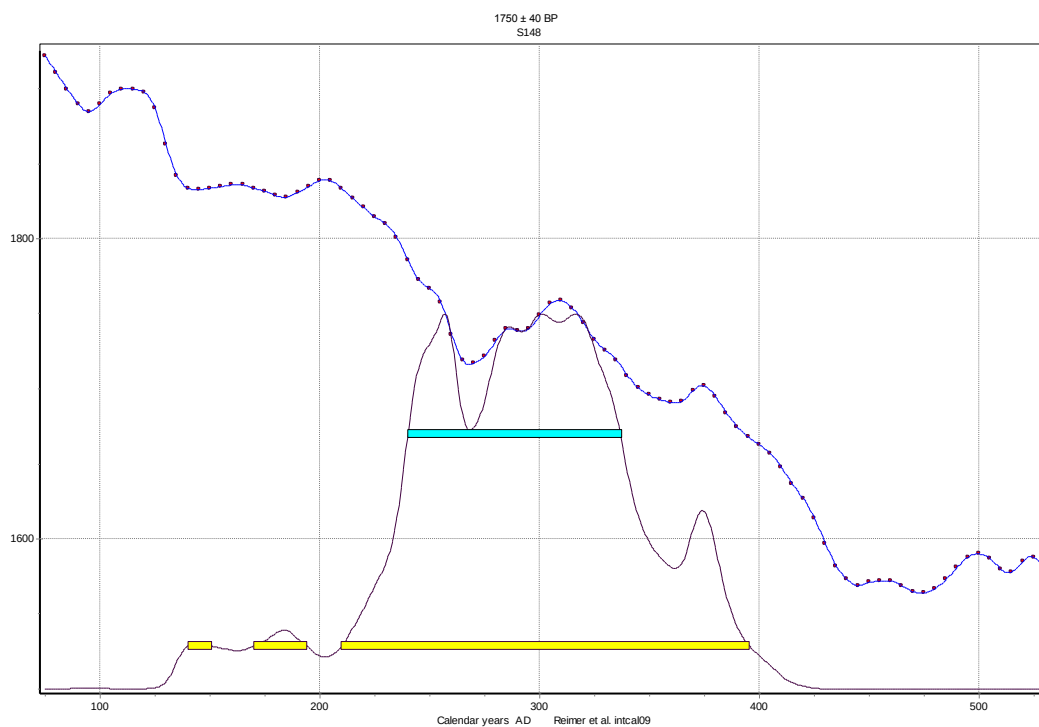
het lokale klimaat. Variatie in de $\delta^{18}\text{O}$ representeert daardoor de variatie in drinkwaterbronnen en indirect de omstandigheden van het lokale klimaat.

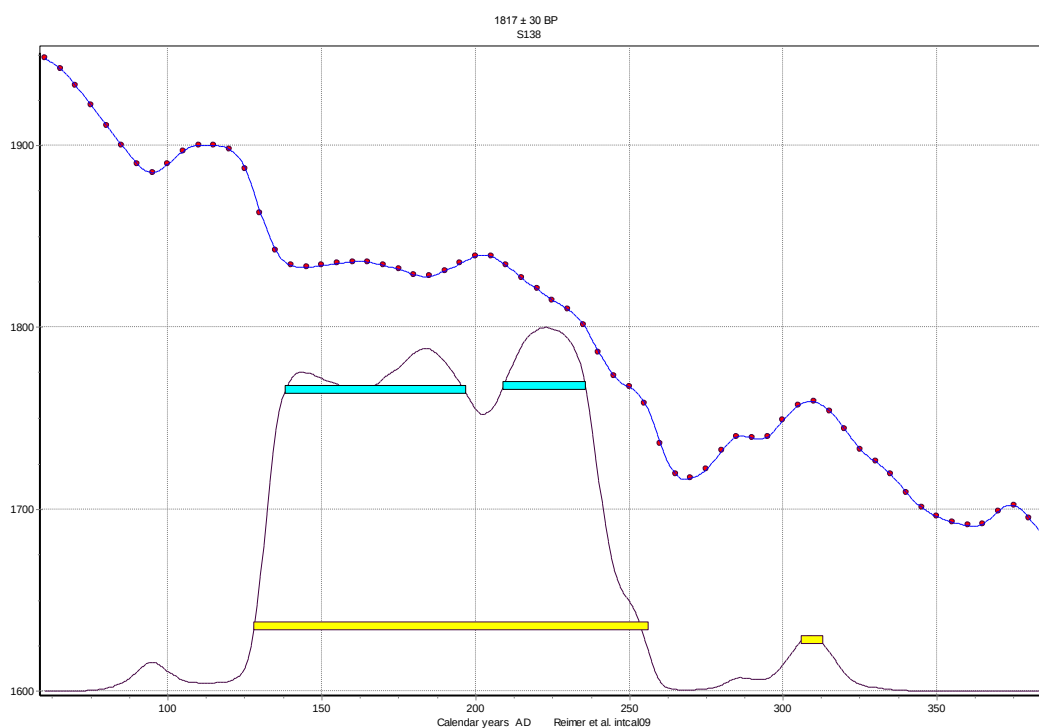
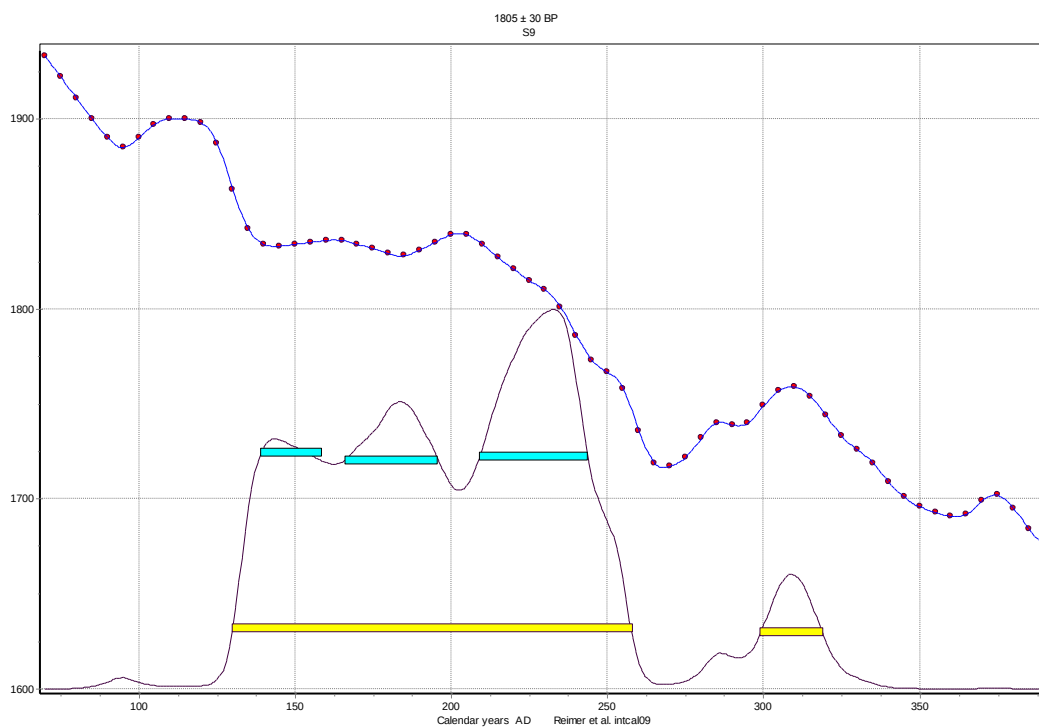
De isotoop waarden worden genoteerd in δ -notatie ten opzichte van een standaard in promille (‰). Dit omdat de absolute verschillen tussen isotopen heel klein zijn. In deze studie is de $\delta^{18}\text{O}$ uit de fosfaatgroep (PO_4) gemeten ten opzichte van de V-SMOW standaard, de Vienna Standard Mean Ocean Water, volgens de onderstaande formule:

$$\delta^{18}\text{O}_p = \frac{{}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{monster}} - {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{standaard}}}{{}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{standaard}}} \times 1000$$

Bijlage 3 – ^{14}C resultaten







Issuelist

2003-01

G. Aalbersberg (2003) *Diatomeeënonderzoek aan IJzertijd-aardewerk van de opgraving Vinkenburg*; IGBA Rapport 2003-01, pp. 12

2003-02

H. Kars (2003) *Slijpplaatjesonderzoek aan zogenaamd Zuid-Nederlands handgemaakt aardewerk*; IGBA Rapport 2003-02, pp. 9

2003-03

G. Aalbersberg (2003) *Korrelgroottemetingen aan materiaal van de sites Lomm en Koeweide*; IGBA Rapport 2003-03, pp. 4

2004-01

A. Kattenberg (2004) *Magnetisch onderzoek in de Maasvallei: een methodologisch onderzoek*; IGBA Rapport 2004-01, pp. 13

2004-02

A. Kattenberg (2004) *Grondradar onderzoek rond de kerk in Elst*; IGBA Rapport 2004-02, pp. 12

2004-03

A. Kattenberg (2004) *Meerssen-Onderste Herkenberg, een magnetisch onderzoek*; IGBA Rapport 2004-03, pp. 16.

2004-04

S. Oonk (2004) *Geochemisch onderzoek in de Maasvallei*; IGBA Rapport 2004-04, pp. 19.

2004-05

G. Aalbersberg & K. Sykora (2004) *Report on the preliminary investigation of the Nicopolis archaeological area and surroundings*; IGBA Rapport 2004-05, pp. 19

2004-06

M.M. van den Berg & E.A. Hatzmann (2004) *Water en Archeologisch Erfgoed*; IGBA Rapport 2004-06, pp. 190.

2004-07

G. Aalbersberg (2004) *Grindanalyses aan Romeins materiaal uit de Leidsche Rijn*; IGBA Rapport 2004-07, pp.11.

2005-01

K.J.R. Kerckhaert & A.E. Kattenberg (2005) *Geofysisch onderzoek bij L'Amastuola, Italië (campagne 2004)*; IGBA Rapport 2005-01, pp. 14.

2005-02

M. Jans (2005) *Degradatie archeologisch bot Raalte-Heeten*; IGBA Rapport 2005-02, pp. 6.

2005-03

S. Leevers (2005) *Een analyse van de ijzerproductie in Raalte en Heeten (AD 250-350)*; IGBA Rapport 2005-03, pp. 23

2005-04

G. Aalbersberg & A.J.M. de Kraker (2005) *Reconstructie van het stroomgebied van de Westerschelde tussen 1550 en 2000 aan de hand van kaarten en de bedijkingsgeschiedenis* IGBA Rapport 2005-04, pp. 71.

2005-05

A. Smit, A. Beeker & R.M. van Heeringen (2005) *Ontwikkeling van instrumenten om de pH en redoxpotentiaal in de onverzadigde van de bodem te meten; eindrapport*. IGBA rapport 2005-05, pp. 20.

2005-06

M. Jans (2005) *De conservering van archeologisch bot te Stede Broec* IGBA rapport 2005-06, pp. 10

2005-07

A. Smit (2005) *Redoxpotentiaalmetingen op een archeologisch monument en onder een naastgelegen gronddepot te Beuningen*. IGBA rapport 2005-07, pp. 11

2005-08

A. Kattenberg (2005) *Magnetische prospectie van ijzerproductieplaatsen: Heeten-Hordelman. Een methodologisch onderzoek*. IGBA rapport 2005-08, pp. 22

2005-09

S. Oonk (2005) *Geochemische prospectie Zijderveld*. IGBA rapport 2005-09, pp. -.

2005-10

A. Smit (2005) *Redoxpotentiaalmetingen in grondsporen te Meteren-Hondsgemet (gemeente Geldermalsen)*. IGBA rapport 2005-10, pp. 15

2005-11

L.M. Kootker, H. Kars (2005) *Physical, chemical and biological deterioration of the Roman theatre in Ancient Nikopolis, Epirus, Greece; A Preliminary Report*. IGBA rapport 2005-11, pp. 49

2005-12

L.J.T. Janssen, A.L.H. Storme, S.J. Kluiving (2005) *'Ancient landscape in Roman Nikopolis' Reconstruction of geomorphology and vegetation in the area of the Roman city of Nikopolis, Epirus, Greece; A Preliminary Report*. IGBA rapport 2005-12, pp. 75

2006-01

Drs. M. Dekker, Drs. A. Kattenberg (2006) *Elektrisch weerstandsonderzoek Meteren Plantage, Geldermalsen, Huis te Meteren en Kasteel Blanckenstijn*. IGBA rapport 2006-01, pp.15

2006-02

L.J.T. Janssen & A.L.H. Storme (2006) *'Ancient landscape in Roman Nikopolis' Reconstruction of geomorphology and vegetation in the area of the Roman city of Nikopolis, Epirus, Greece*. IGBA report 2006-02, pp.156

2006-03

Drs. M. Dekker, Drs. A. Kattenberg (2006) *Elektrisch weerstandsonderzoek Varik Molenblok, gemeente Neerijnen, Huis Varik*. IGBA rapport 2006-03, pp. 11

2006-04

T. Verschoor (2006) *'Archeometallurgie', Een onderzoek naar de ijzerproductie van drie locaties in de omgeving van Raalte*. IGBA rapport 2006-04, pp. 34

2007-01

Lisette M. Kootker (2007) *'The Roman Theatre in Ancient Nikopolis, Epirus, Greece', Degradation or preservation; an Archaeometric Approach*. IGBA rapport 2007-01, pp. 110

2007-02

R. Abdulfattah (2007) *Detecting Pleistocene Cover Sand by Means of Different Geophysical Techniques*. IGBA-rapport 2007-02, pp. 28

2007-03

R. Abdulfattah (2007) *The Applications of Geophysics in Investigating Burial Mounds and Urnfields in the Netherlands*. IGBA rapport 2007-03, pp.30

2007-04

M. Theelen (2007) *Chemical analysis of Roman bronzes from Naaldwijk*. IGBA rapport 2007-04, pp.79

2007-05

Lisette M. Kootker (2007) *'On the binders of mortars from Nikopolis, Greece'. A physico-chemical characterization in view of their conservation'* IGBA-rapport 2007-05, pp. 79

2007-06 vervallen

2007-07

Drs. Saddha (A.G.F.M.) Cuijpers (2007) *Histologische soortbepaling van drie verbrande botfragmenten uit het Laatpaleolithicum*. IGBA rapport 2007-07, pp.10

2008-01

A.H.L. Storme (2008) *'The landscape at Zakynthos'. Detailed geomorphological description of the south-eastern part of the Vassilikos Peninsula*. IGBA rapport 2008-01, pp. 246

2008-02

Michel Vorenhout (2008) *Grondwaterstand en -kwaliteit rond twee verschillende ingekuilde wrakken (25H-20 en -21, Almere)*. IGBA rapport 2008-02, pp.16

2008-03

M. Tendürüs (2008) *Earthquakes and archaeology. A case study in Zakynthos, Greece: Quantification of the influence of seismic activities on the archaeological remains*. Research Project Landscape Archaeology, Vrije Universiteit Amsterdam, Institute for Geo- and Bioarchaeology IGBA rapport 2008-03, pp. 48.

2008-04

Renee van der Locht & Henk Kars (2008) *Stabiele stikstof en koolstof isotopen als indicatie voor paleodieet in Middeleeuws Vlaardingen*. IGBA-rapport 2008-04, pp. 32

2008-05

Michiel Dekker (2008) *'Applications of Light Stable Isotopes to Archaeology: Three Case Studies Addressing Diet, Seasonality & Climate'*. Palaeodiet, Palaeoclimate and Migration: Stable Isotope Analysis of Human Remains at the Anglo-Saxon Cemetery at Ely, United Kingdom. Seasonal Variations Observed in Modern Red Deer Teeth from Tolna, Hungary. Seasonal Variations around the Pleistocene-Holocene Transition Observed in Red Deer Teeth from Pucina, Croatia. IGBA rapport 2008-05, pp. 123.

2008-06

Michel Vorenhout (2008) *Veenterpen Matsloot-Roderwolde en Peizer- & Eeldermeden: beperkte nulmeting en advies voor monitoring*. IGBA-rapport 2008-06, pp.30 + 3 kaarten

2008-07

Annelies Koopman (2008) *Landscape Reconstruction around Neolithic Kom W, Fayum, Egypt; a Geo-Archaeological Approach*. IGBA-rapport 2008-07, pp. 208 + supplement

2008-08

Michiel Dekker & Renee van de Locht (2008). *Reconstruction of the Landscape around the Roman City of Nikopolis, Greece. An Integrated Study using Geomorphological and Geological Research combined with Archaeological Data and Soil Analysis*. IGBA rapport 2008-08, pp.294

2008-09

Renée van de Locht (2008). *Ancient Starch in Çatalhöyük and Kaman Kalehöyük, Turkey Morphology, distribution patterns and preservation conditions of starch granules in archaeological features and soils*. IGBA rapport 2008-09 pp. 100

2008-10

Renée van de Locht & Henk Kars (2008). *Herkomstbepaling door middel van Strontium en Zuurstof isotopen van 11^{de} eeuwse Vlaardingers*. IGBA rapport 2008-10, pp. 44.

2009-01

Lisette M Kootker (2009) *Herkomstbepaling door middel van strontium. Zuurstof en waterstof isotopen van een langgehoord rund uit Rotterdam Wijnhaeve*. IGBA rapport 2009-01, pp.35.

2009-02

Maaike Sonders (2009) in prep.

2009-03

Michel Vorenhout (2009) *Wuustegraaf/Hemmen A1.1-Monitoring 2006 en 2007*. IGBA-rapport 2009-03, pp 17.

2009-04

Saddha Cuijpers (2009) Fysisch antropologisch onderzoek van de crematieresten uit het grafveld Groesbeek-Spoorlaan. IGBA-rapport 2009-04, pp.18.

2009-05

Jan Graven, Inge de Kort, Myrsini Gkouma (2009) PALEOLANDSCAPE HISTORY IN NORTH WESTERN GREECE: A multi-proxy analysis of lake sediments. IGBA-rapport 2009-05, pp. 85

2009-06

Lisette M Kootker (2009) *Bodemkundig onderzoek van twee mogelijke Bronstijd inhumaties te Malden*. Instituut voor Geo- en Bioarcheologie, Vrije Universiteit Amsterdam IGBA-rapport 2009-06, pp.22.

2009-07

Lisette M Kootker & Steffen Baetsen (2009) *Fysisch antropologisch onderzoek Westmaas, locatie De Munnik*. Instituut voor Geo- en Bioarcheologie/Archeologisch Centrum Vrije Universiteit (ACVU) Vrije Universiteit Amsterdam. IGBA-rapport 2009-07, pp 27.

2009-08

Adriaan MJ de Kraker (2009) *Dijken en bewoning van de Polder van Dronthen in historisch perspectief*. IGBA-rapport 2009-08, pp.19.

2009-09

Lisette M. Kootker en Steffen Baetsen (2009) *Fysisch antropologisch onderzoek Purmerend – Plantsoengracht*. Instituut voor Geo- en Bioarcheologie/Archeologisch Centrum Vrije Universiteit (ACVU) Vrije Universiteit Amsterdam IGBA-rapport 2009-09, pp. 27.

2009-10

M. Tendürüs (2009) Landscape evolution of the southern coastal plain of Zakynthos, Greece, since the Middle Holocene. Master Thesis Landscape Archaeology, Vrije Universiteit Amsterdam, Institute for Geo- and Bioarchaeology. IGBA-rapport 2009-10, pp. 123.

2009-11

Lisette M. Kootker, 2009. Archeozoölogische rapportage van botmateriaal uit Sittard.Projecten Ursulinencomplex (27134) en Odagarage (16695), IGBA Rapport 2009-11, pp. 48.

2009-12

Ricardo Fernandes (2009) *Study on Roman and Merovingian copper alloyed artefacts. In soil corrosion processes and recycling practices*. Master thesis archaeometry. Institute for Geo- and Bioarchaeology. Vrije Universiteit Amsterdam. IGBA report 2009-12, pp. 219

2010-01

Kluiving, S.J. & M. Vorenhout (in prep.) *Interdisciplinair onderzoek naar archeologie, geologie, hydrologie en conservering van het cultureel erfgoed in de ondergrond van het Stadshart van Vlaardingen: een testonderzoek*. IGBA rapport 2010-01, pp.