

7. FYSISCH-CHEMISCH MATERIAALONDERZOEK

Hans Huisman (RACM), Ineke Joosten (ICN), Eva Kars (ADC) en Henk Kars (VU/ RACM)

Inhoud

Deel 1 Inleiding

- 1.1: Karakterisering en opzet
- 1.2: Onderzoeksgeschiedenis
- 1.3: Positie van het onderzoek en gewenste ontwikkelingen

Deel 2 Nationale en internationale onderzoeksthema's

- 2.1: Archeo-metallurgie
- 2.2: Bouwmaterialen (keramiek en natuursteen)
- 2.3: Degradatie-onderzoek
- 2.4: Biomoleculaire archeologie

Deel 3 Vraagstellingen per materiaalsoort

- 3.1: Organische materialen
 - 3.1.1: Fysisch-chemische eigenschappen
 - 3.1.2: Organisch materiaal als archeologische bron
 - 3.1.3: Bescherming in situ
 - 3.1.4: Conservering ex situ
- 3.2: Metalen en metaalslakken
 - 3.2.1: Fysisch-chemische eigenschappen
 - 3.2.2: Metaal als archeologische bron
 - 3.2.3: Bescherming in situ
 - 3.2.4: Conservering ex situ
 - 3.2.5: IJzerproductie
- 3.3: Aardewerk en glas
 - 3.3.1: Fysisch-chemische eigenschappen
 - 3.3.2: Aardewerk en glas als archeologische bron
 - 3.3.3: Degradatie
- 3.4: Bouw materiaal (keramiek en natuursteen)
 - 3.4.1: Fysisch-chemische eigenschappen
 - 3.4.2: Degradatie
- 3.5: Grondsporen
 - 3.5.1: Fysisch-chemische eigenschappen
 - 3.5.2: Grondsporen als archeologische bron
 - 3.5.3: Bescherming in situ

Literatuur

DEEL 1 INLEIDING

1.1: Karakterisering en opzet

In dit hoofdstuk staat het natuurwetenschappelijk onderzoek aan archeologische materialen centraal. In de natuurwetenschappelijke archeologie (ook bekend als archeometrie of *archaeological science*) wordt gepoogd archeologische vraagstellingen te beantwoorden door gebruik te maken van chemische en fysische technieken. Deze technieken zijn veelal afkomstig uit de aardwetenschappen en de materiaalkunde. De onderzoeker dient dan ook niet alleen te beschikken over een gedegen archeologische achtergrond, maar ook over *up-to-date* kennis van en ervaring in methoden, technieken en toepassingen uit de aardwetenschappen en materiaalkunde. Natuurwetenschappelijke en archeologische kennis kunnen dan op vruchtbare wijze worden ingezet bij het beantwoorden van archeologische vraagstellingen of het formuleren van nieuwe vragen. Archeologisch onderzoek kan veel baat hebben bij natuurwetenschappelijke benaderingen; niet alleen omdat het vaak een andere, soms verrassende, kijk geeft op gangbare vragen, maar ook omdat de resultaten van natuurwetenschappelijk onderzoek vaak te gebruiken zijn voor het falsifiëren van archeologische theorieën. Met behulp van de ¹⁴C-dateringstechniek kon bijvoorbeeld de datering van aardewerk op basis van typologie worden bijgesteld en verfijnd.

Opzet

Het natuurwetenschappelijke onderzoek aan archeologische materialen is een zeer divers veld en omvat een scala aan onderzoeksvragen en -technieken. In dit hoofdstuk concentreert de aandacht zich op de volgende onderzoeksrichtingen:

- archeo-metallurgie
- onderzoek van bouwmaterialen (keramisch materiaal en natuursteen)
- degradatie en conservering *in situ*
- biomoleculaire technieken

In deel 2 wordt een overzicht van deze onderzoeksvelden gepresenteerd. Voor overige technieken en onderzoeksrichtingen wordt verwezen naar andere hoofdstukken van de NOaA.

In deel 3 worden vervolgens de volgende materiaalcategorieën besproken:

- organische materialen
- metalen en metaalslakken
- aardewerk en glas
- bouw materiaal (keramisch materiaal en natuursteen)
- grondsporen (hoewel geen materiaal op zichzelf worden grondsporen hier toch beschouwd als onroerende artefacten)

Bij het onderzoek van aardewerk, glas en metaal neemt typonchronologisch onderzoek vanouds een centrale plaats in. Voor typonchronologische kwesties wordt hier echter verwezen naar de periode- en regio-specifieke hoofdstukken van de NOaA.

1.2: Onderzoeksgeschiedenis

1.2.1: Inhoudelijke ontwikkeling

Lange tijd was materiaalonderzoek voornamelijk gericht op de typologische classificatie van (met name) aardewerk, glas en metaal. Toen er halverwege de 20ste eeuw instrumentele (d.w.z. niet-handmatige) analysetechnieken beschikbaar kwamen, werden deze (ter aanvulling op de typologische methode) steeds vaker ingezet voor het onderzoek van archeologische materialen. Deze ontwikkeling werden mede gestimuleerd door de opkomst van de *New Archaeology*. In Engeland en Duitsland werden programma's opgezet voor de systematische analyse van aardewerk, metaal en glas.¹ In Nederland werd in die periode bijvoorbeeld de samenstelling van de collectie Romeins brons uit het toenmalige Museum Kam in Nijmegen geanalyseerd.² Het doel van dergelijk natuurwetenschappelijk materiaalonderzoek was het bepalen van de herkomst van het materiaal en het onderzoek van productieprocessen. De herkomst van grondstoffen en objecten werd vooral uitgevoerd met *fingerprint*-technieken. Dat betekent dat (net als bij het nemen van vingerafdrukken bij

¹ Bijv. Otto & Witter 1952.

² Den Boesterd 1965.

recherche-onderzoek) verschillende chemisch/mineralogische parameters van archeologische objecten onderling worden vergeleken, of worden vergeleken met bekende grondstoffen of resten uit productiecentra. De mate van overeenkomst is dan een aanwijzing welke objecten tot een groep behoren, en eventueel uit welk productiecentrum de groep afkomstig is. Voor het onderzoeken van productieprocessen werd natuurwetenschappelijk materiaalonderzoek gekoppeld met archeologisch onderzoek van productiecentra en eventueel met de studie van epigrafische en schriftelijke bronnen uit de oudheid.³ In Nederland is sinds de tachtiger jaren van de vorige eeuw de nodige expertise opgebouwd op het gebied van oude technologie. Dit geldt met name voor materiaalcategorieën als steen, aardewerk en metalen (m.n. ijzer).⁴

In het materiaalonderzoek lag de focus aanvankelijk vooral op anorganische materialen zoals steen, aardewerk, glas en metaal. In de zeventiger en tachtiger jaren van de vorige eeuw kwamen er echter technieken beschikbaar die het mogelijk maakten ook organische materialen nader te onderzoeken. Het onderzoek van dieet en migratie op basis van de chemische samenstelling en isotopenverhoudingen in kookresten en menselijk en dierlijk skeletmateriaal heeft (na pionierswerk in Engeland) inmiddels wereldwijd een hoge vlucht genomen.⁵ Meer recent is de daar de brede toepassing van DNA-onderzoek van archeologisch materiaal aan toegevoegd. Deze technieken vallen gezamenlijk onder de noemer biomoleculaire archeologie (zie onder). De biomoleculaire archeologie is in Nederland sterk in ontwikkeling, onder meer door de instelling van een leerstoel biomoleculaire archeologie aan de Vrije Universiteit in Amsterdam.

Gelijktijdig met de genoemde ontwikkelingen ontwikkelde zich ook het onderzoek ten behoeve van de archeologische monumentenzorg, als uitvloeisel van de ondertekening en implementatie van het Europese Verdrag van Malta (of Valletta) in 1992. Om archeologisch materiaal *in situ* te kunnen bewaren (d.w.z.: in de bodem) is immers kennis nodig van afbraakprocessen en bodemmilieu. Daarom is aan het repertoire van anorganische en organische fysisch-chemische analyses dat wordt toegepast in fysisch-chemisch materiaalonderzoek ook aardwetenschappelijke kennis toegevoegd. Ook de oorsprong van het onderzoek ten behoeve van behoud *in situ* ligt in Engeland, hoewel ook Nederland en verschillende Scandinavische landen de afgelopen jaren een internationale reputatie hebben opgebouwd. In Nederland werd de basis hiervoor gelegd met het pionierswerk dat Kars sinds de tachtiger jaren van de 20ste eeuw verricht.

1.2.2: Organisatorische ontwikkeling

Tot de tachtiger jaren van de 20ste eeuw was fysisch-chemisch materiaalonderzoek in Nederland niet institutioneel ingebed. Dit veranderde met de komst van Henk Kars bij de ROB. Als onderzoeker op het gebied van de archeometrie richtte hij daar een onderzoeksgroep op die zich bezighield met dateringen, oude technologie, herkomstbepalingen en (chemische) prospectie. In 1994 werd Kars daarnaast benoemd tot hoogleraar archeometrie aan de VU, waardoor deze tak van onderzoek ook universitair werd ingebed. In 2002/2003 werd aan de VU het Instituut voor Geo- en Bio-archeologie (IGB) opgericht, met Kars aan het hoofd. Dit instituut, onderdeel van de faculteit Aard- en Levenswetenschappen, voert onderzoek uit op het gebied van de 'klassieke' archeometrie, landschapsarcheologie, prospectie en archeologische monumentenzorg. Ook verzorgt het de MSc- en BSc-studies geoarcheologie.

Bij het fysisch-chemisch materiaalonderzoek van de ROB lag de nadruk met name op onderzoek in het kader van de archeologische monumentenzorg. In 2003 werd bodemkundige/geochemicus Hans Huisman aangetrokken als senior onderzoeker bodem en degradatie. In datzelfde jaar werd het onderzoek op het gebied van *in situ* behoud geconcentreerd in een themaprogramma bestaande uit drie projecten, resp. materiaaldegradatie, monitoring van archeologische sites en het in kaart brengen van bedreigingen voor het archeologisch erfgoed.

De versterking van het fysisch-chemisch materiaalonderzoek aan de VU en de ROB in de afgelopen tien jaar is een positieve ontwikkeling. Echter, het aantal mensen dat actief is in deze discipline is nog steeds erg klein. Ook blijft het materiaalonderzoek afhankelijk van laboratoriumfaciliteiten en kennis bij niet-archeologische instituten of faculteiten. Het IGB heeft, doordat het deel uitmaakt van de faculteit aard- en levenswetenschappen, wel de beschikking over een aantal anorganisch- en organisch-chemische laboratoriumfaciliteiten en isotopenmetingen. Toch blijft het veld voor andere analyses afhankelijk van laboratoria bij instellingen als de Universiteit Utrecht/TNO (geïntegreerd laboratorium; geochemie, stabiele isotopen, kleimineralogie), het Nederlands Instituut voor Onderzoek van de Zee (NIOZ; bio-organisch onderzoek), het Instituut Collectie Nederland (ICN; non-destructieve

³ Zie bijv. Forbes 1957.

⁴ Bardet 1995; Brongers 1983; Kars 1984; Joosten 1994; Van Wageningen 1988.

⁵ Zie NOaA-hoofdstuk 4, 'De ¹⁴C-methode'.

analyses, anorganische en organische analyses) en de Technische Universiteit Delft (TUD; anorganische geochemie).

1.3: Positie van het onderzoek en gewenste ontwikkelingen

De belangstelling voor de natuurwetenschappelijke archeologie is groeiende. Dit geldt bijvoorbeeld voor het onderzoek naar de Romeinse en middeleeuwse ijzerproductie⁶ en onderzoek naar degradatie en *in situ* bescherming, waaraan door universiteiten, RACM (voormalig ROB), provincies en commerciële bedrijven steeds meer belang wordt gehecht. Voor de archeologische monumentenzorg is kennis over de conserverende of corroderende werking van (bodem-) processen immers van groot belang.

In financieel en organisatorisch opzicht is de basis van de natuurwetenschappelijke archeologie in Nederland erg smal. Het betreft een divers vakgebied, dat wordt gedragen door een beperkt aantal personen, verspreid over verschillende instellingen. Op dit moment zijn de verschillende expertises te versnipperd en persoonsgebonden. Door het gebrek aan institutionele inbedding wordt het grootste deel van het onderzoek verricht binnen extern gefinancierde projecten en is er nauwelijks sprake van continuïteit. Ook ontbreekt een (centrale) onderzoeksfaciliteit; alle benodigde metingen worden uitgevoerd bij laboratoria die in de eerste plaats voor andere vakgebieden zijn ontwikkeld en die hun eigen agenda en prioriteiten hebben. De huidige positie van de natuurwetenschappelijke archeologie is dus kwetsbaar. De verdere ontwikkeling tot volwaardig deelgebied van de archeologie is dan ook een punt van zorg voor de toekomst.

Aandachtspunten voor de toekomst:

- Om de continuïteit en de integrale ontwikkeling van de natuurwetenschappelijke archeologie te garanderen zijn afdoende personele en technische faciliteiten noodzakelijk;
- Het gebrek aan zorg voor opgegraven objecten. Door de recente groei in het volume van het archeologisch onderzoek komt er weliswaar steeds meer materiaal beschikbaar voor analyse, maar door de 'druk van de markt' is er steeds minder financiële ruimte voor materiaalanalyse en conservering;
- In de huidige PvE's wordt conservering hoogstens *pro memorie* genoemd of als meerwerk opgevoerd. De ontwikkeling van kennis over de passieve en actieve *ex situ* conservering stagneert al enige jaren;
- De selectie van vondstmateriaal voor conservering baart steeds meer zorgen. Omdat conservering vaak meerkosten met zich meebrengt, wordt de selectie vaak zo klein mogelijk gehouden. Echter, alleen adequaat geconserveerd materiaal is na enkele jaren nog bruikbaar voor nader onderzoek;
- De natuurwetenschappelijke archeologie is gebaat bij een nauwe samenwerking met 'echte' archeologen. Dit geldt met name voor het ontwikkelen van nieuwe vraagstellingen en innovatieve toepassing van technieken. Ook onderwijs kan hier een belangrijke bijdrage aan leveren.

DEEL 2 NATIONALE EN INTERNATIONALE ONDERZOEKSTHEMA'S

2.1: Archeo-metallurgie

Archeo-metallurgie is een specialisme dat zich richt op de analyse van metaal en resten van metaalproductie uit archeologische context. Het onderzoek naar de vroeghistorische ijzerproductie door Joosten is inmiddels afgerond.⁷ Hierbij werd aandacht besteed aan de gehele keten van ertswinning, brandstoflevering en ijzerproductie-ovens in Midden- en Oost-Nederland. Ook de invloed van de ijzerproductie op de economie kwam daarbij naar voren. In de archeologische praktijk komen steeds nieuwe resten tevoorschijn die te maken hebben met deze vroeghistorische ijzerproductie. Ondertussen heeft het onderzoek naar (ijzer)slakken een vaste plaats verworven in de archeologische praktijk. Het onderzoek van Joosten heeft nieuwe vragen opgeworpen over aspecten van de vroeghistorische ijzerproductie in Nederland. Een belangrijke vraag is waarom de

⁶ Naar aanleiding van het promotie-onderzoek van I. Joosten (zie Joosten 2004).

⁷ Joosten 2004.

grootschalige ijzerproductie zich concentreerde in het midden en oosten van Nederland, terwijl het in met name in Brabant vrij onbekend is. Ook is het de vraag waarom in Overijssel een ander productieproces werd gebruikt dan in de Achterhoek en de Veluwe (met name een andere toepassing van flux).

2.2: Bouwmaterialen (keramiek en natuursteen)

Bouwmateriaal (baksteen, dakpannen, natuursteen, etc.) wordt soms aangetroffen op opgravingen, zij het meestal niet in grote hoeveelheden. Door de schaalvergroting van de archeologie is er de laatste jaren veel materiaal beschikbaar gekomen. Ondanks dat er weinig tot geen structureel onderzoek heeft plaatsgevonden van bouwmateriaal in archeologische context (afgezien van epigrafie) gaat het om een materiaalcategorie met groot onderzoekspotentieel. Met name in Engeland zijn nieuwe methoden ontwikkeld om tot een systematische basisregistratie van bouwmateriaal te komen. Het determinatiesysteem van de *Museum of London Archaeological Service* (MoLAS) wordt in ons land al toegepast.⁸ Hierbij wordt niet alleen het type bouwmateriaal en eventuele stempels beschreven, maar ook baksel en maten. Deze gegevens zijn belangrijk voor vragen op het gebied van typo-chronologie, maar leveren ook inzicht in het productieproces en handelslijnen. Het structureel determineren van bouwmateriaal volgens een gestandaardiseerd inventarisatiesysteem levert een referentiekader op waarmee bouwmateriaal gekoppeld kan worden aan productiesites en groeves. Op deze wijze kan inzicht worden verkregen in de handel in bouwmaterialen en de afstanden waarover materiaal werd getransporteerd. Door fysisch/chemisch materiaalonderzoek uit te voeren kan nader worden onderzocht wat de link is tussen de productiecentra en de groeves waar de grondstoffen werden gewonnen. Bovendien kan de informatie worden gebruikt voor onderzoek naar productiemethoden. Als productiesites worden opgegraven is het uiterst belangrijk om gegevens te verzamelen over het geproduceerde materiaal, zodat er een vergelijking kan worden gemaakt met bouwmateriaal dat op andere sites is aangetroffen.

2.3: Degradatie-onderzoek

Sinds de ondertekening van het Verdrag van Valletta (Malta) is de instandhouding van het archeologisch bodemarchief leidend geworden voor het Nederlandse archeologiebeleid. Door de nadruk op behoud *in situ* (d.i. in de bodem) is er behoefte ontstaan aan kennis over de relatie tussen bodemomstandigheden en de mate van conservering van het archeologisch erfgoed dat zich nog in de bodem bevindt. Ook is inzicht gewenst in het effect van menselijk handelen op de staat en conservering van het bodemarchief. Materiaalonderzoek speelt hierbij een cruciale rol: door onderzoek van archeologische materialen uit verschillende begravingscondities kan worden vastgesteld aan welke degradatiefactoren het materiaal blootstaat, onder welke omstandigheden het bodemarchief in goede conditie blijft en hoe vindplaatsen het beste kunnen worden gemonitord om te bepalen of er (voor het bodemarchief) negatieve veranderingen optreden in het bodemmilieu.

Het onderzoek ten behoeve van degradatie en conservering *in situ* speelt zich af op drie verschillende niveaus:

1. het individuele object
2. de vindplaats
3. regionaal/landelijk

1: Objectniveau

Op het niveau van het object richt het onderzoek naar degradatie en conservering zich op de vraag naar de processen die verantwoordelijk zijn voor de aantasting van archeologische resten. De centrale vraag is of omzetting en/of (gedeeltelijke) afbraak al dan niet resulteert in informatieverlies. Daarbij is van groot belang onder welke bodemomstandigheden deze processen plaatsvinden, en wat er gebeurt als deze omstandigheden (al dan niet door menselijk ingrijpen) veranderen. De basis voor conserveringsonderzoek *in situ* werd gelegd in Engeland en Scandinavië.⁹ Sinds het midden van de tachtiger jaren is ook in Nederland onderzoek verricht naar de degradatie van

⁸ Kars & Vos 2003.

⁹ Bijv. Corfield *et al.* 1996; Nixon 2004.

archeologisch objecten. In verschillende EU-gefinancierde projecten hebben ROB en later de VU internationale onderzoeksprojecten uitgevoerd op dit gebied, zoals:

- (bot): project 'The degradation of bone as an indicator in the deterioration of the European archaeological property';¹⁰
- (hout): project 'Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation poles and archaeological sites' (BACPOLES);¹¹
- (scheepswrakken): project 'Monitoring, safeguarding and visualizing North-European shipwreck sites: common European cultural heritage – challenges for cultural resource management' (MOSS).¹²

Met subsidie van NWO wordt onderzoek verricht naar de degradatie van botanische macroresten in een samenwerkingsverband van VU, BIAX, ROB en Wageningen Universiteit. In 2003 startte de ROB in het kader van het themaprogramma MAteriaal DEgradatie (MADE) met verschillende onderzoeken. Het onderzoek naar aantasting van hout van de Romeinse schepen van De Meern en Woerden is inmiddels afgerond.¹³ De vondst van het Romeinse graf van Bocholtz bood de mogelijkheid om onderzoek te doen naar de variatie in aantasting van glas en brons als gevolg van verschillen in chemische samenstelling (publicaties in voorbereiding).

Het materiaaldegradatie-onderzoek richt zich nu en in de komende jaren vooral op de aantasting van grondsporen. Ze vormen een belangrijke bron van informatie voor de archeoloog, maar er is nog nauwelijks sprake van systematische kennis over hun (ook potentiële) degradatie. Ook wordt een onderzoek opgezet naar de aantasting van metalen voorwerpen in de bouwvoor in relatie tot bodemkenmerken, milieufactoren en landgebruik.

Kennis (en dus ook publicaties) over degradatie van archeologisch materiaal is technisch van aard omdat het vaak geschreven is vanuit een chemisch/fysische vraagstelling. Een gevolg is dat het voor de gemiddelde archeoloog moeilijk is deze kennis te begrijpen en toe te passen. Dit geldt met name voor de archeologische monumentenzorg. De belangrijkste uitdaging voor de komende jaren is dan ook om de aanwezige kennis - en waar nodig nieuw te ontwikkelen kennis - toepasbaar te maken voor de archeologische wereld. Een eerste aanzet hiervoor werd in 2003 gegeven door een literatuuronderzoek naar de belangrijkste processen van degradatie van archeologisch materiaal.¹⁴ Een uitgebreide hoeveelheid informatie verschijnt in het Praktijkboek Instandhouding Monumenten (PIM).¹⁵

Ad 2: vindplaatsniveau

Een belangrijke actuele toepassing van degradatiekennis is het ontwikkelen van technieken voor het monitoren van archeologische terreinen. Op dat gebied is de afgelopen jaren een grote stap voorwaarts gezet.¹⁶ Nederland, Engeland en Denemarken hebben daarmee internationaal een toonaangevende positie verworven. Momenteel wordt (met steun van het *College voor de Archeologische Kwaliteit, CvAK*) gewerkt aan de ontwikkeling van een standaard voor het monitoren van archeologische terreinen.¹⁷ Daarnaast wordt de vraag naar informatie over de effecten van bouwen (m.n. zetting) op archeologische resten steeds groter. In Engeland is hierover onlangs een standaardwerk verschenen.¹⁸ Verschillende Nederlandse initiatieven richten zich nu ook op deze problematiek. Het fysisch-chemisch materiaal onderzoek levert hier de kennis die nodig is om vast te stellen welke bodemparameters op de verschillende vindplaatsen van belang zijn om bedreigingen in te kunnen schatten. Alleen met behulp van fysisch-chemische materiaalkennis kan worden vastgesteld of bepaalde veranderingen in een bodem – bijvoorbeeld toenemende zuurstofgehalten – van negatieve invloed kunnen zijn op het bodemarchief op een specifieke vindplaats (bijvoorbeeld een natte site die goed geconserveerde ijzeren voorwerpen bevat).

Ad 3: regionaal en landelijk niveau

De conservering van het bodemarchief is sterk afhankelijk van de eigenschappen van de bodem en van het grondwater. Het moet dan ook mogelijk zijn om de te verwachten conserveringstoestand van

¹⁰ Kars & Kars 2002.

¹¹ O.a. Klaassen 2005.

¹² Cederlund 2004.

¹³ Huisman & Klaassen 2005(a).

¹⁴ Kars & Smit 2003.

¹⁵ Huisman 2005; Huisman & Klaassen 2005(b), Huisman *et al.* in voorbereiding, Huisman & Joosten in druk.

¹⁶ Bijv. Van Heeringen & Theunissen 2001; Van Heeringen *et al.* 2004.

¹⁷ Project *Standaard Archeologische Monitoring* (SAM; zie http://www.racm.nl/content/xml_racm/project_sam.xml.asp). Zie ook Smit, Van Heeringen & Theunissen in voorbereiding (2006).

¹⁸ Davis & Gdaniec 2004.

archeologische resten in de bodem in kaart te brengen. Een dergelijk initiatief gaat binnenkort van start in de vorm van een definitiestudie en een *pilot*-project. Met subsidie van het SIKB-programma *Ruimte voor Geo-Informatie* is daarvoor een samenwerkingsverband opgericht tussen ROB, Alterra, NITG-TNO, Wageningen Universiteit (WUR) en Bureau Nieuwland. Ook hier geldt dat het fysisch-chemische materiaalonderzoek de kennis levert die nodig is om bij dit soort projecten vast te stellen in welke regio's welke bedreigingen voorkomen voor welke typen archeologische resten. Het verwerken van de gewonnen informatie in de IKAW en/of de Archeologiebalans, zou inzicht bieden in de staat van het bodemarchief op landelijke schaal.

2.4: Biomoleculaire archeologie

De biomoleculaire archeologie is een subdiscipline binnen de natuurwetenschappelijke archeologie. Het omvat alle onderzoek dat wordt verricht aan *van oorsprong* biologisch vondstmateriaal (dus ook barnsteen, git, etc.) met behulp van moleculair-biologische, (bio)chemische en fysisch-chemische methoden. Het omvat dus in feite al het natuurwetenschappelijke onderzoek aan organisch materiaal dat buiten de traditionele archeozoölogie en archeobotanie valt, maar wel informatie oplevert over de eigenschappen of de functie van het organische materiaal. Dateringstechnieken als dendrochronologie en ¹⁴C-datering vallen hier dus buiten. Dit vereist een vruchtbare samenwerking met externe deskundigen op het gebied van de moleculaire biologie, de evolutionaire antropologie en genetica, de medische biologie, de biochemie en de geochemie.

Het onderzoek richt zich zowel op inhoudelijke archeologische vraagstellingen als op kwesties die van belang zijn voor de archeologische monumentenzorg (bijv. degradatie). Biomoleculaire archeologie is een zeer divers vakgebied dat kan bijdragen aan veel verschillende soorten onderzoeksvragen en thema's die van belang zijn voor de archeologie, zoals:

- soort- en geslachtsbepaling, migratie, domesticatie
- paleodieet en voedsleconomie
- oude technologie
- degradatie en conservering van archeologisch materiaal

Met name in Engeland is veel ervaring opgedaan op al deze gebieden. Enkele grote, toonaangevende onderzoeksgroepen hebben zich hierin gespecialiseerd. Voor voorbeelden, zie:

- <http://www.chm.bris.ac.uk/ogu/archaeological.htm>
- <http://www.eva.mpg.de/evolution/files/biomolecularLab.htm>

In Nederland is de organisch-chemische analytische infrastructuur (i.e. laboratoria) wel aanwezig (met name bij aardwetenschappelijke universiteiten en instituten), hoewel toepassingen in de archeologie tot nog toe beperkt zijn gebleven.

In 2005 is aan de universiteit Leiden een DNA-lab geopend. In ons land zijn ondertussen enkele projecten gaande waarbij menselijk DNA-materiaal wordt geanalyseerd. Een van die onderzoeken betreft een project waarbij aan de hand van skeletten die zijn opgegraven bij de Catharinakerk in Eindhoven onderzoek wordt gedaan naar resistentie tegen de pestbaciil.

Met behulp van DNA-technieken is in het buitenland ervaring opgedaan met onderzoek naar de domesticatie van dieren als paard, rund, geit en varken¹⁹ en van planten als tarwe en maïs.²⁰

DEEL 3 VRAAGSTELLINGEN PER MATERIAALSOORT

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de mogelijkheden van natuurwetenschappelijk archeologisch onderzoek per materiaalsoort. In principe is de hoeveelheid onderzoek die mogelijk is onbeperkt; wij beperken ons hier echter tot onderzoek dat (in potentie) kan bijdragen aan gangbare archeologische vraagstellingen. Voorts worden ook thema's genoemd die vanuit de natuurwetenschappelijke archeologie zelf belangrijk worden gevonden.

Het is duidelijk dat het grootste deel van het materiaal dat voor fysisch-chemisch materiaalonderzoek in aanmerking komt afkomstig is van opgravingen. Er dienen bij voorkeur al tijdens de opgraving maatregelen te worden genomen opdat het materiaalonderzoek naderhand zo optimaal mogelijk kan

¹⁹ Bijv. Loftus *et al.* 1994; Jansen *et al.* 2002; Bruford *et al.* 2003.

²⁰ Zie bijv. Brown 1999; Allaby & Brown 2003; Freitas *et al.* 2003.

worden uitgevoerd. Door onzorgvuldige behandeling van het vondstmateriaal kan er immers informatie verloren gaan. Met name de periode van het blootleggen tot en met het bergen van vondsten is kritiek: het materiaal dient zo goed mogelijk beschermd te worden tot het bij de specialist komt die het gaat bestuderen of conserveren. Hier wil het nog wel eens aan schorten. In het veld heeft men begrijpelijkerwijs de neiging om vondstmateriaal direct schoon te maken om een mooie foto te kunnen maken. Echter, de buitenste laag 'vuil' (met name rondom metaal en hout) vormt een laatste bescherming die bovendien vaak nog extra informatie kan bevatten (bijv. textielafdrukken op metaal). Het verdient aanbeveling om voorwerpen pas binnenshuis, door een deskundige te laten schoonmaken. In sommige gevallen is het zelfs beter om ook de berging zelf aan deskundigen over te laten.

Dergelijke informatie is beschikbaar in de Veldhandleiding Archeologie.²¹ Omdat deze in de praktijk echter te weinig gebruikt wordt zal de SIKB binnenkort een handreiking voor in het veld publiceren. Hierin wordt aangegeven op welke wijze dient te worden omgegaan met verschillende soorten materialen tijdens opgravingen, teneinde schade zoveel mogelijk te voorkomen.

3.1: Organische materialen

3.1.1: Fysisch-chemische eigenschappen

Hout, plantenresten en textielvezels van plantaardige oorsprong zijn opgebouwd uit verschillende soorten organische verbindingen, met als hoofdbestanddelen koolstof, zuurstof, waterstof en stikstof. De exacte samenstelling en de opbouw en onderlinge samenhang van de celstructuur verschilt van soort tot soort en van onderdeel tot onderdeel en kan door degradatie of verhitting worden beïnvloed. Botmateriaal bevat naast organische bestanddelen (collageen) ook minerale delen (hydroxyapatiet). Onder invloed van klimaat, locatie en dieet kunnen in organische materialen verschillen ontstaan in het gehalte van bepaalde isotopen (w.o. koolstof, zuurstof, stikstof, zwavel, strontium en lood) en hun onderlinge verhouding. Dat betekent dat door het analyseren van isotopen in organisch materiaal informatie kan worden verkregen over zaken als herkomst en dieet (zie hiervoor ook het NoA-hoofdstuk 'De ¹⁴C-methode').

3.1.2: Organisch materiaal als archeologische bron

Paleodieet

Aan de hand van de verhoudingen tussen stabiele isotopen van met name koolstof en stikstof in botmateriaal wordt informatie verzameld over het paleodieet, zoals eiwitrijkdom en de consumptie van marien voedsel.²² Chemische analyse van kookresten op potscherven levert informatie over voedsel en voedingsstoffen. Op die manier kan bijvoorbeeld onderscheid worden gemaakt tussen plantaardig en dierlijk vet.²³ Interessant is ook het onderzoek van Braatbaard naar de chemische eigenschappen van granen en peulvruchten die bij verschillende temperaturen zijn geroosterd.²⁴ Zijn onderzoek maakt het mogelijk vast te stellen bij welke temperaturen graan en andere zaden bewerkt zijn. Ook bleek dat het morfologische onderscheid tussen emmertarwe en broodtarwe door verkolen kan worden verstoord.

Onderzoeksvragen:

- Op basis van skeletresten:
 - hoe zag het voedselpatroon er uit (eiwitrijk/eiwitarm)?
 - was er een significant aandeel zeevoedsel in het menu?
- Op basis van aankoeksels: op welke wijze werd voedsel bereid en met welke grondstoffen?
- Op basis van verkoold materiaal:
 - bij welke temperatuur werden granen of peulvruchten geroosterd of verkoold?
 - heeft dit invloed op de interpretatie van dit materiaal, bijvoorbeeld het onderscheid tussen emmertarwe en broodtarwe?

Soort- en geslachtsbepaling, migratie, domesticatie

Met behulp van DNA-onderzoek kan worden bijgedragen aan vragen omtrent verwantschap, pathologie, geslacht, migratie en domesticatie. DNA-onderzoek op menselijk skeletmateriaal maakt

²¹ zie www.archeoplan.nl/ap/veldhandleiding.pdf.

²² DeNiro & Epstein 1978; Van der Merwe & Vogel 1978; O'Connell & Hedges 1999, O'Connell *et al.* 2000; Macko *et al.* 1999.

²³ Bijv. Spangenberg *et al.* 2006.

²⁴ Braatbaard 2004.

het in principe mogelijk om familieverbanden aan te tonen. Dit vereist echter wel uitgebreide maatregelen op de opgraving en in het laboratorium om contaminatie met modern menselijk materiaal te voorkomen. Deze problemen zijn kleiner bij dierlijk en plantaardig materiaal.

In het buitenland is ervaring opgedaan met migratieonderzoek aan de hand van analyses van enkele specifieke stabiele isotopen (lood, strontium en zuurstof) in menselijke tanden en botmateriaal. Met behulp van deze isotopen kan idealiter worden vastgesteld in welke regio een individu de eerste twaalf jaar van zijn leven heeft doorgebracht. Op deze wijze kunnen migraties worden vastgesteld op het niveau van individuele skeletten.²⁵ In Nederland zijn voor dit soort analyses faciliteiten beschikbaar (m.n. de Vrije Universiteit) en is met deze materie (zij het beperkte) ervaring opgedaan.

3.1.3: Bescherming *in situ*

Organisch materiaal is gevoelig voor degradatie. Bij de bescherming van archeologische sites richt men zich dan ook vaak in de eerste plaats op de bescherming van in de bodem aanwezige organische materialen. De kennis over de degradatie van hout en bot is dankzij twee EU-gefinancierde projecten²⁶ redelijk ontwikkeld. De kennis over de samenhang tussen bodemmilieu enerzijds en de vorm en intensiteit van aantasting anderzijds vertoont nog de nodige lacunes. Ook over de degradatie van materialen als leer, textiel en organische macroresten bestaat nog veel onduidelijkheid.

Onderzoeksvragen:

- Welke rol spelen nutriënten (bijvoorbeeld nitraat en ammonia) in bodem en bodemwater bij de (microbiële) aantasting van organische resten?
- Wat is de beste manier om vast te stellen of er sprake is van *in situ*-aantasting?
- Welke archeologische informatie gaat verloren bij de verschillende degradatie-processen?

3.1.4: Conservering *ex situ*

Hout kan zwavel- en ijzerverbindingen bevatten die na opgraven en/of conserveren grote schade kunnen veroorzaken. Dit geldt vooral voor hout uit zuurstofloze mariene milieus; zeewater-sulfaat reageert in die omstandigheden met archeologisch ijzer of ijzerverbindingen uit het sediment en vormt daarbij gereduceerde zwavelverbindingen (bijvoorbeeld pyriet). Na blootstelling aan zuurstof produceren deze verbindingen namelijk aanzienlijke hoeveelheden zwavelzuur, die het hout aantasten. Buitenlands onderzoek aan scheepswrakken (o.m. het Zweedse oorlogsschip de *Vasa* in Stockholm²⁷ maar ook de *Batavia* en de *Mary Rose*) heeft duidelijk gemaakt dat dit een omvangrijk probleem is, dat ook optreedt als schepen geconserveerd zijn. Het is belangrijk om op basis van Nederlands materiaal te onderzoeken of het probleem ook in ons land aan de orde is, en zo ja: wat de omvang ervan is.

3.2: Metalen en metaalslakken

3.2.1: Fysisch-chemische eigenschappen

De chemische samenstelling van metalen voorwerpen kan zeer uiteenlopen. In de eerste plaats is deze afhankelijk van de legering, in de tweede plaats van de productiemethode en in de derde plaats (op het niveau van sporenelementen of isotopen) is deze afhankelijk van verschillen in herkomst van grondstoffen en brandstof. De inwendige structuur van metaal is een afspiegeling van de wijze waarop een voorwerp is vervaardigd of bewerkt (bijv. gegoten vs. gehamerd). De soort en de intensiteit van corrosie weerspiegelt het fysieke bodemmilieu waarin het object zich heeft bevonden, alsmede de postdepositionele processen waaraan dat milieu heeft blootgestaan. Soms zijn in de corrosielaag afdrukken of restanten te vinden van organische resten die verder vergaan zijn (bijv. textiel of leer). De chemisch/mineralogische samenstelling van slakmateriaal levert belangrijke informatie op over productieprocessen, type grondstof, brandstof en oventemperatuur.

3.2.2: Metaal als archeologische bron

Metalen voorwerpen kunnen gebruikt worden voor natuurwetenschappelijk archeologisch onderzoek op het terrein van lokale en regionale economie, handelsnetwerken en industriële ontwikkeling. Het

²⁵ Evans *et al.* 2006; Price *et al.* 2004.

²⁶ Bot: project 'The degradation of bone as an indicator in the deterioration of the European archaeological property' (zie Kars & Kars 2002). Hout: project 'Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation poles and archaeological sites' (BACPOLES) (zie o.a. Klaassen 2005).

²⁷ Sandström *et al.* 2002; 2003.

betreft dan met name vragen die samenhangen met de productie van metaal als grondstof (erts: type en herkomst; brandstof: type en herkomst; productiemethode; soorten legeringen die werden geproduceerd) en de productie van metalen voorwerpen (samenstelling en herkomst van het gebruikte metaal; productietechnieken). De herkomst van grondstoffen en eindproducten van metaal kan worden vastgesteld met chemische *fingerprint*-technieken (zie § 1.2.1). Op basis daarvan kan vervolgens een uitspraak worden gedaan over transportroutes en economische structuren. Een toepassing die steeds vaker wordt benut is de bepaling van de herkomst van lood op basis van sporenelementen en loodisotopen in loden, bronzen of gouden voorwerpen: Die metalen bevatten in de regel kleine hoeveelheden lood, genoeg voor een isotopendatering.

Het verdient aanbeveling om te onderzoeken of ijzeren voorwerpen kunnen worden gedateerd door middel van ¹⁴C-datering van ingesloten koolstof of resten houtskool. Met name op de zandgronden, waar organisch materiaal slechts zelden bewaard blijft, zou dit een welkome aanvulling zijn op de reguliere dateringen.

De corrosielagen rondom ijzeren voorwerpen kunnen afdrucken bevatten van organische resten als textiel. Hier dient rekening mee te worden gehouden bij het bergem, schoonmaken en conserveren van metalen vondsten. De samenstelling van de corrosielaag kan zelfs gegevens opleveren die waardevol zijn voor de paleogeografie, omdat deze laag anders van samenstelling is in verschillende milieus: met name de aanwezigheid van sulfidische corrosielagen in zoetwatergebieden kan duiden op postdepositionele overstromingen door zeewater.

3.2.3: Bescherming *in situ*

Voor de archeologische monumentenzorg is het van belang om het bodemmilieu en veranderingen daarin te kunnen beoordelen op hun agressiviteit ten opzichte van archeologisch metaal. Kwesties die in deze context spelen zijn de invloed van het bodemmilieu op corrosie (inclusief de effecten van vermisting en zure depositie) en de relatie tussen samenstelling van de metaallegering en de vorm en intensiteit van corrosie. De aanwezigheid van metaal in de bodem kan er zelfs voor zorgen dat andersoortige archeologische resten bewaard blijven. Voor voorwerpen van organische materialen geldt bijvoorbeeld dat de biologische afbraak van leer, hout en bot wordt vertraagd door de nabijheid van koperen voorwerpen (of voorwerpen die van een koperlegering zijn gemaakt). De toxiciteit van koper is hiervoor verantwoordelijk.

In internationale publicaties wordt momenteel gediscussieerd over het effect van milieuverontreinigingen (zoals vermisting en verzuring) op de toestand van metalen voorwerpen in de bodem. Inzet van de discussie is de constatering dat metalen voorwerpen die 100 jaar geleden zijn opgegraven minder zijn gedegradeerd dan recente vondsten. Een deel van de onderzoekers ziet dit als aanwijzing dat er een sterke achteruitgang in de kwaliteit van archeologisch materiaal *in situ* gaande is.²⁸ Een vergelijkbare opvatting wordt in Nederland gehuldigd door zowel archeologen als detectoramateurs. Andere onderzoekers wijten dergelijke verschillen aan veranderende opgravingsstechnieken en verschillen in het bodemmilieu op de verschillende testsites. Recent onderzoek in Nederland heeft aangetoond dat de vorm en mate van corrosie van koperlegeringen mede afhankelijk is van de oorspronkelijke chemische samenstelling van de legering en van de productiewijze.²⁹ Gezien deze discussie verdient het aanbeveling vast te stellen in hoeverre de bodemsamenstelling, legering en milieuverontreiniging bijdragen aan de corrosie van archeologisch materiaal. Pas als daarvan een goed beeld is verkregen, kan worden besloten of er maatregelen nodig zijn om verdere aantasting te voorkomen, en zo ja welke.

3.2.4: Conservering *ex situ*

Het is belangrijk dat metalen voorwerpen oordeelkundig worden behandeld en geconserveerd. Onderzoek naar het behoud van archeologisch metaal - ook in het depot - is dan ook onontbeerlijk. De selectie van metalen voorwerpen voor conservering *ex situ* is een bron van zorg. Tijdens de opgraving wordt vaak een selectie gemaakt van voorwerpen die wel of niet geconserveerd dienen te worden. Met name ijzeren voorwerpen met een dikke corrosielaag lopen het gevaar om al in deze fase te worden weggegooid. Dergelijke 'roestklompen' geven hun informatie pas af op röntgenfoto's. Daarom is het belangrijk om voorafgaand aan de selectie voor conservering röntgenfoto's te maken en deze te gebruiken bij het maken van de selectie.

Bij de keuze voor een conserveringstechniek dient rekening te worden gehouden met de eisen van archeometallurgisch onderzoek. Onderzoek van de gebruikte smeedtechniek is bijvoorbeeld niet meer

²⁸ Mattson *et al.* 1996.

²⁹ De Groot 2006.

mogelijk als een ijzeren voorwerp is geconserveerd door middel van een hittebehandeling (die de structuur van het materiaal verandert).³⁰

3.2.5: IJzerproductie

De onderzoeksvragen die betrekking hebben op de ijzerproductie - en verwerking in Nederland bouwen voor een belangrijk deel voort op het onderzoek naar Romeinse en vroegmiddeleeuwse ijzerproductie in Nederland door Joosten.³¹ Belangrijke vragen die uit dit onderzoek voortkomen zijn:

- Eventuele ijzerproductie in Zuid-Nederland. In de Romeinse tijd en Vroege Middeleeuwen was er in Midden-Nederland sprake van grootschalige ijzerproductie. Er zijn tot op heden echter weinig aanwijzingen gevonden voor ijzerproductie in Zuid-Nederland. Als de ijzerproductie zich in genoemde perioden inderdaad beperkt tot Midden-Nederland is het de vraag of dat samenhangt met de beschikbaarheid van erts en/of brandstof, of dat er andere oorzaken zijn.
- Welke soorten ijzer werden er geproduceerd, en met welke methoden? Het is niet duidelijk of naast smeedijzer ook fosforrijk ijzer werd geproduceerd. Uit de Romeinse tijd zijn haarden bekend - bekleed met siltsteen/leisteel - die werden gestookt met steenkool in plaats van houtskool. Hoe algemeen was deze toepassing in de Romeinse tijd?

3.3: Aardewerk en glas

3.3.1: Fysisch-chemische eigenschappen

Keramik bestaat uit klei en andere mineralen die zodanig zijn verhit dat er chemisch/mineralogische veranderingen zijn opgetreden die ervoor hebben gezorgd dat het materiaal stevigheid heeft en (in sommige gevallen) waterdicht is. De chemisch/mineralogische samenstelling van keramik is afhankelijk van de gebruikte grondstoffen, baktemperatuur en ovenconfiguratie (oxiderend vs. reducerend milieu). Ook glazuur (indien toegepast) kan variëren wat betreft type en samenstelling (bijv. loodglazuur, tinglazuur).

Glas bestaat uit een mengsel van silica met calcium en natrium of kalium, dat zodanig is verhit dat een onregelmatige netwerkstructuur is ontstaan. Soms zijn er stoffen toegevoegd of speciale smeltechnieken gebruikt om het glas een specifieke kleur te geven. De gebruikte grondstoffen en de eigenschappen van glas verschillen sterk per periode.

3.3.2: Aardewerk en glas als archeologische bron

Aardewerk en glas zijn bij uitstek materialen die gebruikt worden als basis voor typologisch en typonologisch onderzoek. Dat is echter geen onderwerp van dit hoofdstuk (zie verder de periodehoofdstukken van de NOaA).

Als aanvulling op typologisch of typonologisch onderzoek kunnen verschillende natuurwetenschappelijke technieken worden gebruikt. De mineralogisch/chemische samenstelling van keramik en glas kan informatie opleveren over productietechnieken. Bij aardewerk kunnen uit de chemisch-mineralogische eigenschappen van het baksel, de baktemperatuur en aspecten van het bakproces worden afgeleid. Insluitsels, magering en sporenelementen geven informatie over de gebruikte grondstoffen en (in potentie) hun herkomst. Bij glas geeft de chemische samenstelling informatie over de gebruikte grondstoffen. Sporenelementen geven informatie over de herkomst van de grondstoffen.

Romeins doorzichtig glas heeft meestal een groene of blauwgroene kleur. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van (deels) gereduceerd ijzer. Ook kleurloos glas komt voor; het gaat daarbij met name om luxeproducten. Er zijn verschillende theorieën in omloop over de manier waarop het glas zou zijn 'ontkleurd':

- door het toevoegen van stoffen waardoor ijzer oxideert (in de Middeleeuwen bijvoorbeeld door het toevoegen van mangaan);
- door het uitloggen van het ijzer uit de grondstoffen voordat het glas werd gemaakt;
- door het glas te beluchten tijdens het smelten van de grondstoffen om zo het ijzer te oxideren.

Het is niet duidelijk of de sterke degradatie van Romeins glas (tot 'suikerglas') wellicht veroorzaakt is door ontkleuren, of dat er een andere oorzaak in het spel is (bijv. het temperatuurregime tijdens het glasblazen). Soms is het glas gefragmenteerd in scherfjes van enkele millimeters groot, soms is het zelfs (deels) mineralogisch omgezet. Waarschijnlijk is dergelijk glas bij opgravingen in het verleden

³⁰ Deze conserveringstechniek wordt vaak toegepast bij voorwerpen die afkomstig zijn uit zout water.

³¹ Joosten 2004.

vaak verloren gegaan. Het is van belang te onderzoeken wat bij dit type degradatieprocessen de rol is van de oorspronkelijke samenstelling en de wijze van fabricage van het glas. Daarnaast dient er te worden onderzocht hoe deze kwetsbare resten kunnen worden geborgen en onderzocht zonder dat archeologische informatie verloren gaat.

3.3.3: Degradatie

Met name prehistorisch aardewerk dat op lage temperatuur is gebakken, is gevoelig voor degradatie. Er zijn aanwijzingen dat de aantasting van dit materiaal het gevolg is van specifieke bodemeigenschappen (bijv. reducerende omstandigheden). Het fenomeen is echter nooit op wetenschappelijke wijze onderzocht.

De kennis over het effect van bodemomstandigheden (m.n. pH en zout) op de degradatie van glas en keramiek berust voor een belangrijk deel op theorie; van systematisch, praktijkgericht onderzoek is niet of nauwelijks sprake, waarschijnlijk omdat een groot deel van de voorwerpen uit keramiek en glas in goede staat is. Dit betekent echter niet dat alle voorwerpen onder alle bodemomstandigheden goed bewaard blijven.

Een interessante kwestie is de variatie in aantasting van glas en keramiek uit beerputten. Binnen één beerput komen vaak grote verschillen voor in de mate en vorm van aantasting van glas en keramiek. Er zijn zelfs voorbeelden waarbij van één voorwerp de ene scherf in goede staat is, terwijl andere scherven zijn verkleurd, mat geworden of verbrokken. Onderzoek naar dit fenomeen vereist een secure uitgraving van enkele beerputten met veel materiaal (en met voornoemde variatie!), in combinatie met een gedetailleerde opname van het bodemmilieu dat in direct contact met de voorwerpen heeft gestaan;

3.4: Bouwmateriaal (keramiek en natuursteen)

3.4.1: Fysisch-chemische eigenschappen

Bouwmateriaal kan veel informatie opleveren over de organisatie van de productie, logistiek, handel en economie. Met behulp van fysisch-chemische materiaalanalyse kan onderzoek worden gedaan naar herkomst en gebruik van grondstoffen.

Keramisch bouwmateriaal bestaat uit klei en andere mineralen die zodanig zijn verhit dat er chemisch-mineralogische veranderingen zijn opgetreden. Daardoor heeft het materiaal stevigheid gekregen en is het (in de regel) waterdicht geworden. De chemisch-mineralogische samenstelling van keramiek is afhankelijk van de gebruikte grondstoffen, baktemperatuur en het productieproces. Ook glazuur, indien toegepast, kan variëren wat betreft type en samenstelling.

De term 'natuursteen' is een verzameling voor alle soorten steen die in de natuur gevormd zijn. De mineralogische samenstelling en de morfologie is afhankelijk van de wijze waarop het gesteente is gevormd. Naast petrografisch onderzoek kunnen sporenelementen en isotopen aanwijzingen geven over de herkomst van het materiaal.

3.4.2: Degradatie

Keramisch bouwmateriaal en natuursteen zijn in de regel vrij robuust en bestand tegen de meeste degradatieprocessen. Poreuze gesteenten als tefriet, tufsteen en kalksteen zijn echter wel gevoelig voor verwerking. Dit geldt ook voor verbrande granieten en zandstenen. Degradatie is voor deze materiaalcategorie dan ook niet de grootste bedreiging: het grootste risico waaraan dit materiaal blootstaat is dat het op de storthoop verdwijnt omdat de betekenis ervan nogal eens onderschat wordt.

3.5: Grondsporen

3.5.1: Fysisch-chemische eigenschappen

Grondsporen zijn verkleuringen in de grond als gevolg van variatie in bodemeigenschappen (bijv. korrelgrootte, type ijzermineralen, houtskool etc.). Die variaties kunnen een direct gevolg zijn van het graven en weer invullen van kuilen, greppels, putten, e.d., maar kunnen ook zijn ontstaan door het vergaan van organische objecten (bijv. houten palen). Hierbij zijn dan de afbraakproducten van het organische materiaal in de bodemmatrix opgenomen.

3.5.2: Grondsporen als archeologische bron

Het belang van grondsporen is gelegen in de ruimtelijke vorm en verdeling van de verkleuringen. Samen vormen ze een restant van een door menselijk ingrijpen gevormde structuur (bouwwerk, graf, kuil, put etc.). In het licht daarvan is het verdwijnen van grondsporen één van de ernstigste vormen van degradatie. Omdat de bodems in Nederland gevormd zijn in sediment en omdat steenbouw in de meeste archeologische periodes relatief zeldzaam is, zijn grondsporen – eigenlijk al sinds Holwerda – van groot belang in de Nederlandse archeologische onderzoekstraditie.

3.5.3: Bescherming in situ

Er zijn verschillende omstandigheden bekend die verantwoordelijk zijn voor het verdwijnen of slechter zichtbaar worden van grondsporen. In het rivierengebied komen bijvoorbeeld zowel 'vergrijzingen' als 'verbruiningen' voor. Er zijn aanwijzingen dat deze processen het gevolg zijn van veranderingen in de redox-toestand van de bodem en van de aanwezigheid van bepaalde typen ijzerverbindingen.³²

Degradatie van grondsporen in andere bodems is wel bekend uit ervaring (bijvoorbeeld verbleking van sporen in de Brabantse zandgronden), maar wetenschappelijk onderzoek is daar nog niet naar gedaan.

De belangrijkste vraag met betrekking tot grondsporen is onder welke omstandigheden de sporen goed zichtbaar zijn en blijven. Om deze vraag te beantwoorden is kennis nodig over de verschillende bodemsoorten en daarin voorkomende grondsporen. In de eerste plaats moet worden vastgesteld wat een grondspoor zichtbaar maakt, dus welke mineralogisch-chemische verschillen zorgen voor een waarneembaar verschil tussen spoor en omringende bodem. Een stap verder is vast te stellen onder welke omstandigheden deze kleurverschillen zouden kunnen verdwijnen:

- Wat is de invloed van veranderende bodemomstandigheden (redox, vochtgehalte) op de zichtbaarheid van grondsporen?
- Bij welke ingrepen wordt een grondspoor (potentieel) aangetast?

Omdat grondsporen minstens zo divers in samenstelling kunnen zijn als de hun omringende bodem is het belangrijk om te komen tot een overzicht van eigenschappen van bodems, van daarin voorkomende grondsporen en van de gevoeligheid voor milieuveranderingen. De ROB (thans RACM) heeft - na een eerste *pilot* - nader onderzoek opgestart naar de zichtbaarheid van grondsporen (themaprogramma MADE/MATERiaal DEgradatie).³³

³² Huisman in druk (2006).

³³ Huisman in druk (2006).

Literatuur

Allaby, R.G., & T.A. Brown 2003: AFLP data and the origins of domesticated crops, *Genome* 46, 448-453.

Bardet, C.A., 1995: Pottery traded to Dorestad: some exploratory archaeometrical analyses of early medieval Rhenish wares, *BROB* 41, 173-187.

Boesterd, M.H.P. den, 1965: Spectrochemical analyses of Roman bronze vessels, *OMROL* 46, 100-127.

Braadbaart, F., 2004: *Carbonization of peas and wheat - a window in to the past: a laboratory study*, Leiden (dissertatie Universiteit Leiden/AMOLF).

Brongers, J.A., 1983: Ceramological investigations into medieval pottery produced at Schinveld, *BROB* 33, 375-416.

Brown, T.A., 1999: How ancient DNA may help in understanding the origin and spread of agriculture, *Philosophical Transactions of the Royal Society, series B* 354, 89-98.

Bruford, M.W., D.G. Bradley & G. Luikart 2003: DNA markers reveal the complexity of livestock domestication, *Nature Reviews Genetics* 4, 900-910.

Cederlund, C.O. (ed.), 2004: *Final report of the MOSS project*, National Board of Antiquities, Helsinki.

Corfield, M., P. Hinton, T. Nixon & M. Pollard (eds.) 1996: *Preserving archaeological remains in situ?*, *Proceedings of the PARIS conference 1st-3rd april 1996*, London (Museum of London Archeology Service).

Davis, M.J., & K.L.A. Gdaniec 2004: *Mitigation of construction impact on archaeological remains*, London (Museum of London Archaeology Service).

DeNiro, M.J., & S. Epstein 1978: Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42, 495-506.

Evans, J.A., C.A. Cheney & A.P. Fitzpatrick 2006: Bronze age childhood migration of individuals near Stonehenge, revealed by Strontium and Oxygen isotope tooth enamel analysis, *Archaeometry* 48:2, 309.

Forbes, R.J., 1957, *Studies in ancient technology*, Leiden (8 vols.).

Freitas, F.O., G. Bandel, R.G. Allaby & T.A. Brown 2003: DNA from primitive maize landraces and archaeological remains: implications for the domestication of maize and its expansion into South America, *JAS* 30, 901-908.

Groot, T. de, 2006: *Resultaten van de opgraving van een Romeins tumulusgaf in Bocholtz (gem. Simpelveld)*, Amersfoort (RAM 127).

Heeringen, R.M. van, G.V. Mauro & A. Smit (eds.) 2004: *A pilot study on the monitoring of the physical quality of three archaeological sites at the UNESCO World Heritage site at Schokland, Province of Flevoland, the Netherlands*, Amersfoort (NAR 26).

Heeringen, R.M. van, & E.M. Theunissen (eds.) 2001: *Kwaliteitsbepalend onderzoek ten behoeve van duurzaam behoud van neolithische terreinen in West-Friesland en de Kop van Noord-Holland*, Amersfoort (NAR 21).

Huisman, D.J., 2005: *Degradatie en bescherming van archeologisch ijzer*, Amersfoort (Praktijkboek Instandhouding Monumenten II-11, Overige onderwerpen 12).

Huisman, D.J., in druk (2006): How redox-induced soil colour changes mask soil features; cases from alluvial soils in the Netherlands (*BROB*).

Huisman, D.J., & R.K.W.M. Klaassen 2005(a): Variations in wood degradation in three roman oak ships from the Netherlands, in: P. Hoffmann *et al.* (eds.), *Proceedings of the 9th ICOM-WOAM conference, Copenhagen 2004*, Bremerhaven, 145-169.

Huisman, D.J., & R.K.W.M. Klaassen 2005(b): *Degradatie en bescherming van archeologisch hout*, Amersfoort (Praktijkboek Instandhouding Monumenten, II–11, Overige onderwerpen 13).

Huisman, D.J., & I. Joosten, in druk: *Degradatie en bescherming van archeologisch koper en koperlegeringen*, Amersfoort (Praktijkboek Instandhouding Monumenten II–11, Overige onderwerpen).

Huisman, D.J., R.C.G.M. Lauwerier, M.M.E. Jans, A.G.F.M. Cuijpers & F.J. Laarman 2006: *Degradatie en bescherming van archeologisch bot*, Amersfoort (Praktijkboek Instandhouding Monumenten II–11, Overige onderwerpen).

Huisman, D.J., *et al.* in voorbereiding: Medieval marine inundations in the Western Netherlands as indicated by corrosion scales on roman archaeological iron.

Jansen, Th., P. Forster, M.A. Levine, H. Oelke, M. Hurles, C. Renfrew, J. Weber & K. Olek 2002: Mitochondrial DNA and the origins of the domestic horse, *Proceedings of the National Academy of Science (PNAS)* 99:16, 10905-10910.

Joosten, I., 2004: *Technology of early historical iron production in the Netherlands*, Amsterdam (Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 2).

Kars, E., & W. Vos 2003: Romeinse bakstenen in Nederland. Een introductie en pleidooi voor nieuwe onderzoeksmethoden, *ADC Info* 2003, 29-35.

Kars, H., 1984: *Early-medieval Dorestad, an archaeo-petrological study*, Amsterdam (dissertatie Vrije Universiteit) (ook verschenen in *BROB* 1980-1983).

Kars, E.A.K., & H. Kars (eds.) 2002: *The degradation of bone as an indicator in the deterioration of the European archaeological property: final report*, Amersfoort.

Kars, H., & S. Smit (eds.) 2003: *Handleiding fysiek behoud archeologisch erfgoed*, Amsterdam (Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 1).

Klaassen, R.(ed.) 2005: *Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation piles and archaeological sites*, Amersfoort.

Loftus, R.N., D.E. MacHugh, D.G. Bradley, P.M. Sharp & P. Cunningham 1994: Evidence for two independent domestications of cattle, *Proceedings of the National Academy of Science* 91, 2757-2761.

Macko S.A., M.H. Engel, A. Andrusevich, G. Lubec, T.C. O'Connell & R.E.M. Hedges 1999: Documenting the diet in ancient human populations through isotope analysis of hair, *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences* 354(1379), 65-76.

Mattsson, E., A.G. Nord, K. Tronner, M. Fjaestad, A. Lagerlöf, I. Ullen & G.Ch. Borg 1996: *Deterioration of archaeological material in soil. Results on bronze artefacts*, Stockholm (Rapport RIK 10, Riksantikvarieämbetet och Statens Historiska Museer).

Merwe, N.J. van der, & J.C. Vogel 1978: ¹³C content of human collagen as a measure of prehistoric diet in Woodland North America, *Nature* 276, 815-816.

Nixon, T. (ed.) 2004: *Preserving archaeological remains in situ?*, *Proceedings of the 2nd conference 12-14 september 2001*, London (Museum of London Archaeology Service).

- O'Connell, T.C., & R.E.M. Hedges 1999: Isotopic comparison of hair and bone: archaeological analyses, *Journal of Archaeological Science* 26, 661-665.
- O'Connell, T.C., M.A. Levine & R.E.M. Hedges 2000: The importance of fish in the diet of central Eurasian peoples from the Mesolithic to the Early Iron Age, in: M.A. Levine & C. Renfrew (eds), *Late prehistoric exploitation of the Eurasian steppe*, Cambridge (McDonald Institute Monograph).
- Otto, H., & W. Witter 1952: *Handbuch der ältesten vorgeschichtlichen Metallurgie in Mitteleuropa*, Leipzig.
- Price, T.D., C. Knipper, G. Grupe & V. Smrcka 2004: Strontium isotopes and prehistoric human migration: the Bell Beaker Period in Central Europe, *European Journal of Archaeology* 7:1, 9-40.
- Sandström, M., F. Jalilvand, I. Persson, U. Gelius, P. Franck & I. Hall-Roth 2002: Deterioration of the seventeenth-century warship Vasa by internal formation of sulfuric acid, *Nature* 415, 893-897.
- Sandström, M., Y. Fors & I. Persson 2003: *The Vasa's new battle: sulphur, acid and iron*, Stockholm (National Maritime Museum Vasa Studies 19).
- Spangenberg, J.E., S. Jacomet & J. Schibler 2006: Chemical analyses of organic residues in archaeological pottery from Arbon Bleiche 3, Switzerland – evidence for dairying in the late Neolithic, *Journal of Archaeological Science* 33, 1-13.
- Smit, A., R.M. van Heeringen & E.M. Theunissen, in voorbereiding (2006): *Standaard Archeologische Monitoring (SAM). Richtlijnen voor het non-destructief beschrijven en volgen van de fysieke kwaliteit van archeologische vindplaatsen*, Amersfoort (RAM).
- Ullen, I., A.G. Nord, M. Fjaestad, E. Mattsson, G.Ch. Borg & E.K. Tronner 1997: The degradation of archaeological bronzes underground: evidence from museum collections, *Antiquity* 78(300), 380-390.
- Wageningen, R. van, 1988: *Ceramiekimporten in Amsterdam: een mineralogisch herkomstonderzoek*, Amsterdam (dissertatie UvA).