



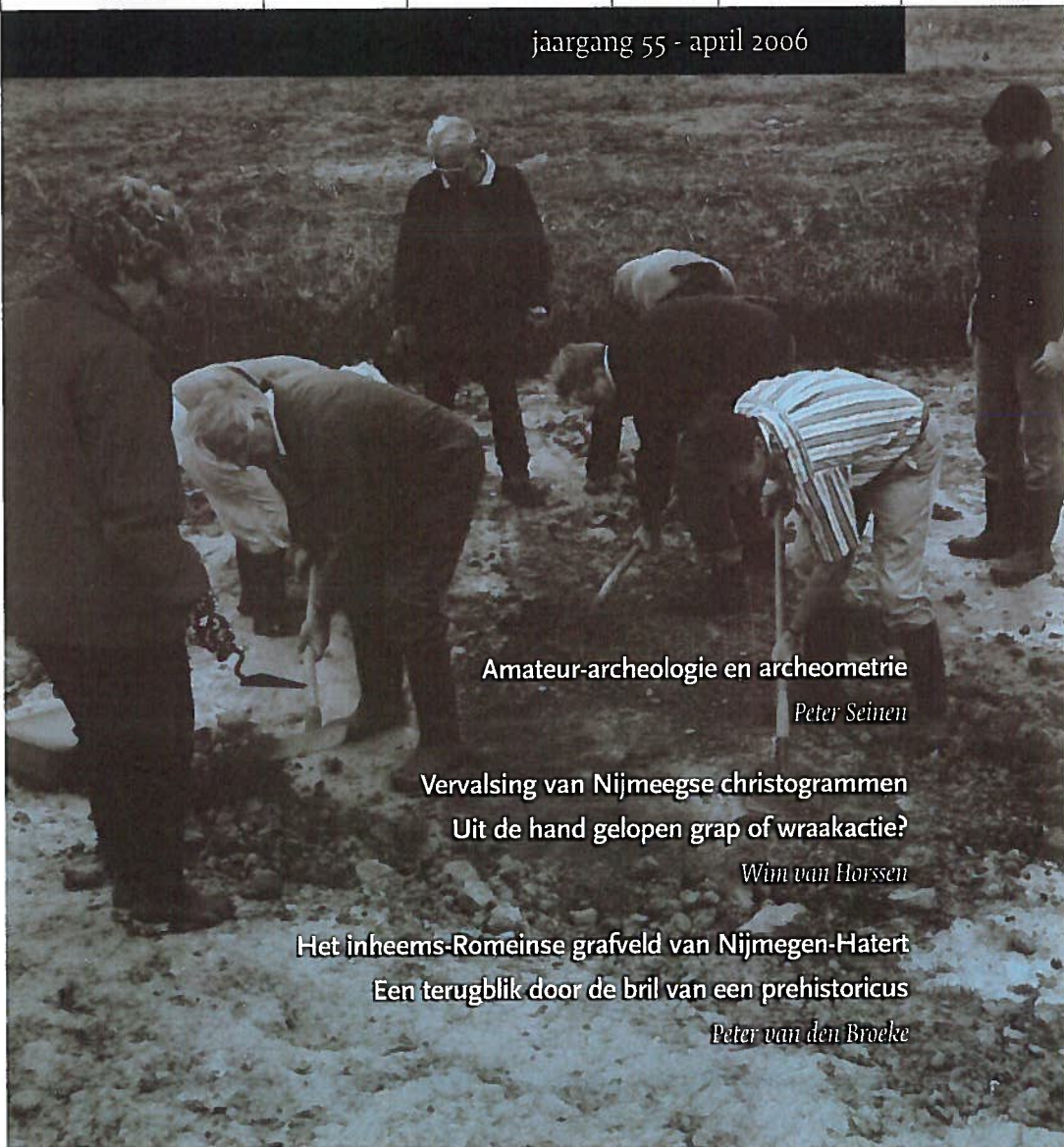
AWN

2 Westerheem



jaargang 55 - april 2006

het tijdschrift voor de Nederlandse archeologie



Amateur-archeologie en archeometrie

Peter Seinen

Vervalsing van Nijmeegse christogrammen

Uit de hand gelopen grap of wraakactie?

Wim van Horssen

Het inheems-Romeinse grafveld van Nijmegen-Hatert

Een terugblik door de bril van een prehistoricus

Peter van den Broeke

Amateur-archeologen en archeometrie

Peter Seinen*



Afb. 1
Romeinse fibulae-
fragmenten met
groen (links) en
zwart (rechts) pati-
na; schaalverdeling
in cm (Foto Laurens
Mulken).

Inleiding

Archeometrie is binnen de archeologie de discipline die zich bezighoudt met natuurwetenschappelijk onderzoek aan archeologische artefacten. Met behulp van vaak dure analysetechnieken wordt getracht een antwoord te vinden op vragen van archeologen ten aanzien van datering, herkomst, functie, fabricagetechniek, et cetera. Door de vaak hoge kosten en de onbekendheid met de analysetechnieken worden deze slechts spaarzaam door amateur-archeologen gebruikt. En dat is jammer, er zijn toch heel erg leuke resultaten te behalen. Aan de hand van een paar voorbeelden van Romeinse artefacten, die in de loop der jaren door leden van de stichting Mergor in Mosam tijdens verkenningen nabij de Romeinse brug bij Cuijk geborgen zijn¹, zal getoond worden dat archeometrisch onderzoek ook voor amateur-archeologen nuttig en leuk kan zijn.

Analysetechnieken ten behoeve van de archeologie

Zoals alle voorwerpen om ons heen, bestaan archeologische artefacten uit chemische stoffen, die door hun sa-

menstellingen iets kunnen vertellen over ouderdom, herkomst, functie, fabricagetechniek, et cetera. Deze stoffen kunnen geïdentificeerd worden door middel van analysetechnieken, waarmee achterhaald kan worden uit welke soorten elementen de stof bestaat (chemische samenstelling) en hoe die met elkaar verbonden zijn (structuur). De vele tientallen technieken die toegepast worden, onderscheiden zich voornamelijk door de soorten stoffen die geïdentificeerd kunnen worden, de vorm waarin het monster moet worden aangeboden (bemonsteren) en de gevoeligheid (benodigde hoeveelheid monster). Technieken waarbij het artefact zoveel mogelijk intact wordt gelaten, verdienen uiteraard de voorkeur. De werkingsprincipes van de in dit artikel vermelde technieken worden in *Intermezzo I* besproken. Echter, zelfs de beste analysetechnieken zijn waardeloos zonder een deskundige interpretatie. Een gedegen literatuuronderzoek en raadpleging van deskundigen moeten daarom zeker parallel lopen met het onderzoek.

Gelukkig zijn in Nederland en de wijde wereld talloze deskundigen te vinden die hiermee met plezier willen helpen. Met een internetaansluiting kan in korte tijd een indrukwekkend netwerk worden opgebouwd.

Het is niet alles goud wat er blinkt

Verreweg de meeste fibulae-fragmenten die geborgen werden, vertoonden het voor bronzen objecten zo bekende lichtgroene patina (afb. 1, links). Een enkel exemplaar was echter zwart (afb. 1, rechts) en vertoonde minuscule goudglanzende plekjes. Dat kon in

*namens Mergor in Mosam, stichting van duikende amateur-archeologen

onze ogen maar één ding betekenen: we hadden een fragment van een zilveren fibula met nog resten van vergulding in handen. Zilver wordt immers zwart door blootstelling aan het milieu. Om de beste conserveringstechniek voor het topstuk te kunnen bepalen, werd met behulp van EDX de chemische samenstelling bepaald van het zwarte patina, de goudglanzende plekjes en het onderliggende metaal. Het resultaat was tegelijkertijd onverwacht en ontluisterend: op een bronzen ondergrond werd een mengsel van kopersulfide (CuS) en ijzersulfide (FeS) gevonden. Op de goudglanzende plekjes werd pyriet (FeS₂) aangetroffen. Pyriet staat ook wel bekend als 'fools gold', wat door haar bedrieglijke goudglans menige goudzoeker in extase heeft gebracht, en ons in dit geval eigenlijk ook een beetje. Het zwarte patina² en het pyriet³ werden door bacteriën gevormd gedurende het eeuwenlange verblijf in de zuurstofarme, veenachtige bodem.⁴ Helaas is onze collectie dus niet een zilveren fibula rijker. Een lichtpuntje is wel dat nu niet verklaard hoeft te worden, waarom de Romeinen een kostbaar restmateriaal als zilver zo achteloos zouden hebben weggesmeten...

Niet altijd 'gitzwart'

Van de vele armbandfragmenten die geborgen werden, bestonden de meeste uit glas. Een enkel exemplaar (afb. 2, boven) was duidelijk van een ander materiaal vervaardigd, dat wel aanvoelde als git, maar niet de spreekwoordelijke 'gitzwarte' kleur had, zoals een glimmende zwarte kraal afkomstig uit dezelfde vondstlaag (afb. 2, onder). Hoewel het fragment onmiskenbaar uit een Romeinse veenlaag tevoorschijn was gekomen, werd zwaar getwijfeld aan de authenticiteit, wat tot grapjes leidde over bakeliet. Om aan alle twijfel een einde te maken werd tot nader onderzoek besloten. Bij het INC⁵ werd informatie ingewonnen over wat git nu precies is en welke analysetechnieken het best gebruikt zouden kun-

Intermezzo I: werkingsprincipes van de gebruikte analysetechnieken

Moderne analysetechnieken hebben vaak Engelstalige afkortingen.

XRF (X-Ray Fluorescence): een monster van het artefact wordt blootgesteld aan een sterke bundel straling, waardoor de atomen röntgenstraling (X-Ray) gaan uitzenden (fluorescentie). De golflengte en intensiteit van deze straling zijn specifiek voor de soorten en concentraties atomen.

EDX (Energy Dispersive analysis of X-rays): een klein fragment van het artefact wordt blootgesteld aan een bundel elektronen, waardoor de atomen straling (X-Ray) gaan uitzenden. Zoals bij XRF zijn golflengte en intensiteit weer specifiek voor de soorten en concentraties atomen.

XRD (X-Ray Diffraction): een monster van het artefact wordt blootgesteld aan een bundel röntgenstraling. Door de regelmatige structuur van de atomen in de stof wordt de bundel onder specifieke hoeken afgebogen (diffractie). Uit deze hoeken kan de structuur worden afgeleid. De structuur is vaak zeer specifiek voor het soort stof en kan daardoor met grote zekerheid geïdentificeerd worden.

XPS (X-ray Photon Spectroscopy): een klein fragment van het artefact wordt blootgesteld aan een zeer krachtige bundel röntgenstraling, waardoor de atomen elektronen gaan uitzenden. Doordat deze elektronen zich moeilijk door stoffen heen kunnen bewegen, worden alleen elektronen die afkomstig zijn van atomen uit de oppervlaktelaag van de stof, gedetecteerd. De energieën van die elektronen zijn weer specifiek voor het element.

FT-IRS (Fourier Transform-Infra Red Spectroscopy): een monster van het artefact wordt blootgesteld aan een bundel infrarode straling (Infra Red). De chemische bindingen tussen de atomen in de stof absorberen specifieke golflengtes van die straling, waardoor een absorptiepatroon ontstaat (spectrum). Dit spectrum is specifiek voor de soort bindingen en daardoor voor het soort moleculen in de stof.

ICP (Inductive Coupled Plasma): een klein fragment van het artefact wordt met een laser verdampt, waarna de ontstane damp in een zeer heet gas (plasma) gespoten wordt. De atomen zenden hierdoor straling uit. De golflengte en intensiteit van deze straling zijn specifiek voor de soorten en concentraties atomen.

nen worden (zie intermezzo II).

Analyse met behulp van infrarood spectroscopie (FT-IRS) wees uiteindelijk uit, dat de armband wel degelijk bestaat uit een soort git, olieschalie genaamd. Niet het kostbare echte git, maar toch wel degelijk authentiek Romeins.

Intermezzo II: de samenstelling van git

Git is een diepzwart mineraal, dat deel uitmaakt van de familie der gefossiliseerde plantenresten, waartoe ook steenkool en aardolie behoren. De leden van deze familie zijn honderden miljoenen jaren geleden ontstaan, toen grote hoeveelheden plantenresten onder grote druk begraven raakten onder dikke pakketten sediment van zand en klei. Wat precies gevormd werd, hing af van de soort plantenresten en de omstandigheden waaronder ze begraven werden⁶. Sommige leden van deze familie zijn voldoende stevig en lenen zich voor bewerking tot sieraden en gebruiksvoorwerpen. Het hoofdbestanddeel zijn koolstofverbindingen waar vaak wat sediment (silicaat) door gemengd is. De soort koolstofverbindingen is, evenals het aandeel sediment, karakteristiek voor het lid van de familie. Infrarood spectroscopie (FT-IRS) geeft de mogelijkheid om (niet-destructief) de soorten verbindingen aan te tonen en dus de verschillende materiaaltypes te onderscheiden⁷. Van de vier materialen⁸ die al in de oudheid tot sieraden verwerkt werden (git, ligniet, olieschalie en cannel-coal), is git naast ligniet omwille van haar diepzwarte kleur, de meest gewilde. Beide bestaan uit gefossiliseerde houtresten. Olieschalie is gevormd uit kleinere plantenresten, waar-tussen zich meer sediment heeft kunnen vermengen. De kleur is dus ook niet echt diepzwart.



Afb. 2
Romeins armband-fragment en Romeinse kraal van git; schaalverdeling in cm (Foto Laurens Mulkens).

Romeins roestvast staal

Bij de berging van de fundamentresten van de Romeinse brug bij Cuijk⁹ werd een groot aantal funderingspalen uit de Maasbodem verwijderd. Een aantal van deze palen was aan de punten voorzien van een ijzeren paalschoen (afb. 3) om het heien van de palen in de bodem te vergemakkelijken. Tijdens transport is één van deze paal-

schoenen gevallen en daardoor gebroken. Het breukvlak viel al meteen op door de glinsterende, zilverkleurige kristaloppervlakken. Aanvankelijk werd niet veel aandacht geschonken aan deze gebroken paalschoen en werd hij bij de andere in het depot bewaard. Ongeveer twee jaar na dato werd bij toeval opgemerkt, dat het breukvlak nog steeds zilverkleurig glinsterde. Zouden de Romeinen al het geheim van roestvast staal gekend hebben? Het was de moeite waard om het 'geheim van de smid' te onderzoeken. Een inspectie met het ongewapende oog leerde overigens al snel dat de roestvastheid maar beperkt was: de buitenzijde van de schoen was door het verblijf van 1600 jaar in de Maasbodem toch zwaar verroest. Analyse van de samenstelling van het metaal met EDX en ICP leerde, dat het om fosforrijk ijzer ging met een zeer laag koolstofgehalte (het gevolg van een langdurig smeedproces). Fosforrijk ijzer komt in onze streken vaker voor en is het gevolg van het gebruik van het lokaal gewonnen ijzeroer als grondstof voor de bereiding.¹⁰ Bekend is dat fosforrijk ijzer enige corrosiebestendigheid heeft. Een bekend voorbeeld uit de archeologie is de nauwelijks aangetaste 1600 jaar oude ijzeren pilaar in het Indiase Delhi.¹¹ Chemische oppervlakteanalyse (XPS) toonde aan het breukoppervlak een fosforrijke laag van enkele atoomlagen dik aan. Deze zeer dunne laag heeft het breukvlak gedurende het relatief korte verblijf in het depot corrosievrij gehouden. Het hoge fosforgehalte (in combinatie met het lage koolstofgehalte) maakt het materiaal wel erg bros, wat de hoofdoorzaak was van de breuk.¹² Het maken van de paalschoen was dus een haastklus, waarbij toevallig een enigszins corrosiebestendig materiaal uit de bus kwam. Gezien de toepassing zal dat zeker geen opzet geweest zijn. Helaas werd dus geen supermateriaal ontdekt, maar gewoon Romeins 'ledikantenijzer'.

Cuijk aan zee?

Diezelfde paalschoen was, zoals vermeld, aan de buitenzijde bedekt met een dikke laag roest. Analyse van de laag met behulp van Röntgendiffractie (XRD) leerde dat het om een specifieke soort roest ging: het zogenaamde akaganeiet (FeOOH). Het bijzondere aan deze verbinding is het feit dat voor de vorming ervan een zekere hoeveelheid chloride nodig is.¹³ Bij een chemisch onderzoek aan een paalschoen afkomstig van een Romeinse brug bij het Italiaanse Minturnae¹⁴ werd dezelfde verbinding gevonden, wat de onderzoekers als overtuigend bewijs zagen dat Minturnae ten tijde van de eerste eeuw voor Christus een getijdhaven was (zeewater is zeer rijk aan chloride, in de vorm van het zout natriumchloride). Om Cuijk nu ook meteen de status van een Romeinse badplaats te geven gaat uiteraard veel te ver. Brakke grondwaterkwel uit onderliggende Tertiaire afzettingen¹⁵ zou voldoende chloride kunnen bevatten om de vorming van akaganeiet te veroorzaken. Waarschijnlijker is echter dat het akaganeiet pas na de berging van de paalschoen is gevormd, een bij conservatoren bekende en vooral beruchte vorm van corrosie.¹⁶ Wellicht waren de onderzoekers bij Minturnae iets te voorbarig met hun conclusies en zegt de aanwezigheid van akaganeiet alleen iets over de zorgwekkende toestand van het ijzer.

Edelsmeedkunst aan de Maas

De vondst van kleine fragmentjes onbewerkt zuiver goud deed al vermoeden, dat de Romeinen in Cuijk de edelsmeedkunst beoefenden. De recente vondst van een keramiek kroesje dat volgens sommigen een cupel (afb. 4) voor het zuiveren van edelmetalen kon zijn geweest (zie Intermezzo III) leek dit vermoeden te bevestigen. De aanwezigheid van kleine glinsterende fragmentjes in de bodem van het kroesje versterkte de gedachte dat het inderdaad om een cupel ging. Bij nadere inspectie van het geelbruine



Afb. 3
Romeinse paalschoen met lichtgrijze resten van geconcretiseerde bodemklei; schaalverdeling in cm (Foto Laurens Mulkens).

kroesje viel al meteen op dat de rand op vier plaatsen grijs verkleurd was. Na microscopische inspectie bleek bovendien op een deel van de grijze verkleuring een zwart glasachtig laagje aanwezig te zijn. Verglazing en vergrauwing wordt bij cupels vaker gezien en kunnen veroorzaakt zijn door de hoge temperaturen waaraan het kroesje tijdens het cupelleerproces bloot heeft gestaan (minimaal 1100°C : zilver en goud smelten pas bij respectievelijk 961 en 1064°C ¹⁷), of door een reactie van het loodoxide (litharge PbO) met het wandmateriaal van het kroesje.¹⁸

Intermezzo III: Zuivering van edelmetalen door cupelleren

Al sinds de oudheid worden edelmetalen zoals goud en zilver met een vrij eenvoudig uit te voeren techniek gezuiverd van metallische verontreinigingen zoals koper. Het edelmetaal wordt in een keramisch kroesje, een zogenaamde cupel, gemengd met lood en in een oven zuurstofarm verhit. In het gesmolten lood lossen de edelmetalen gemakkelijk op, terwijl de verontreinigingen op de smelt blijven drijven. Door de smelt vervolgens langdurig aan lucht te stoken, oxideren het lood en de verontreinigingen tot oxides die niet in de metaalsmelt oplossen en eenvoudig van de smelt afgeschept kunnen worden. Als alle lood in oxide is omgezet, blijft de zeer zuivere edelmetalsmelt achter. Het gevormde loodoxide (litharge PbO) kan met kwarts uit de cupelwand reageren tot glasachtig loodsilicaat, waarin metaaldeeltjes opgesloten kunnen raken. Het loodoxide kan ook door de poreuze wand worden opgenomen, waardoor deze een grijs-zwarte kleur krijgt.¹⁹



Afb. 4
Romeins kroesje met
zwarte rand; schaal-
verdeling in cm
(Foto Laurens Mul-
kens).

Het feit dat de mate van vergrauwing en verglazing heel beperkt is gebleven, zou kunnen betekenen dat het kroesje al kort na productie voor het oorspronkelijke doel onbruikbaar geworden was. De flinke scheur in de wand is hier mogelijk de oorzaak van.

Met behulp van EDX werd eerst een aantal van de glinsterende fragmentjes geanalyseerd en geïdentificeerd als het mineraal glimmer (kaliumaluminiumsilicaat). Glimmer is trouwens een veel voorkomend mineraal in Romeins aardewerk.²⁰ Helaas geen goud of zilver. Analyse van de samenstelling van de grijze delen van de keramiek met behulp van EDX gaf geen verschil te zien met een deel dat normaal geelbruin was. De vergrijzing is dus waarschijn-

Afb. 5
Romeinse ijzerslak
met houtskoolin-
sluitsels; schaalver-
deling in cm (Foto
Laurens Mulkens).



lijk een gevolg van zuurstofarm stoken en niet het gevolg van de aanwezigheid van loodverbindingen. Het zwarte verglaasde materiaal werd eerst met behulp van EDX en later met FT-IRS spectroscopy geanalyseerd en bleek te bestaan uit een koolstofverbinding van organische oorsprong met lange alifatische ketens. Hiervoor komen onder andere teerachtige substanties in aanmerking, maar zeker geen loodsilicaat. Kortom, er werden op het kroesje geen sporen van een cupelleerproces gevonden en dus is het zeer waarschijnlijk nooit gebruikt voor cupelleren. Het is zelfs maar de vraag of het daarvoor ooit bedoeld was, gezien de fragiliteit en de zorg waarmee het werd vervaardigd. Cupels zijn vaak dikwandig, grof en onafgewerkt²¹, typische wegwerp-producten. Intrigerend zijn in ieder geval wel de restanten van het teerachtige materiaal. Uit het feit dat ze precies midden op de grijze vlekken zitten, mag geconcludeerd worden dat het teerachtig materiaal in een oven voor de plaatselijk reducerende atmosfeer heeft gezorgd, waardoor het onderliggende keramiek grijs verkleurde. Welke organische stof door de hitte van de oven in het teerachtig materiaal omgezet werd en wat men daarmee wilde bereiken, is nog niet bekend. Het kroesje heeft haar geheimen nog niet prijsgegeven. Heeft iemand een suggestie?

Romeinse ijzerbereiding

Naast vele sierraden, gebruiksvoorwerpen, bouwmaterialen, tuin- en keukenafval werden ook diverse soorten stenen gevonden met sporen van verglazing. Een enkel brokje bleek na openbreken zelfs nog resten van onverbrand houtskool te bevatten (afb. 5). Waren deze stenen de stille getuigen van Romeinse productie van metalen of aardewerk?

Om iets meer te weten te komen over de Romeinse activiteit waarvan deze stenen getuigen, werden monsters met behulp van XRF en XRD geanalyseerd. De stenen waren samengesteld uit

hoofdzakelijk drie bestanddelen: muliet (aluminiumsilicaat), kwarts (siliciumoxide) en fayaliet (ijzersilicaat) met een sterk wisselende samenstelling. Van andere mogelijke metaalertsen ontbrak ieder spoor. Vooral het fayalietgehalte leert iets over het ontstaan van de steen. Een laag fayalietgehalte of het ontbreken hiervan wijst op sintel: gesinterde en verglaasde klei van het wandmateriaal van de oven. Een zeer hoog fayalietgehalte²² wijst op slak: een reactieproduct van het ijzererts met kwarts.²³ In de verschillende monsters werden zeer lage en hoge fayalietgehalten gevonden: zeer waarschijnlijk wandmateriaal en slak, mogelijk afkomstig uit één oven. Er werd dus inderdaad ijzer bereid in Cuijk, misschien wel voor de paalschoenen ten behoeve van de brug...

Eén of twee sleutels?

Een wel vaker optredend probleem in de archeologie is de vraag of twee losse artefacten deel hebben uitgemaakt van één enkel voorwerp, zeker als nuttige aanwijzingen als breukvlakken door corrosie geheel verdwenen zijn. Ons voorbeeld bestond uit twee groengekleurde artefacten, afkomstig uit dezelfde vondstlaag (afb. 6). Het linker artefact was duidelijk een sleutel. Het rechter artefact leek er wat betreft kleur en vorm perfect bij te passen. Om zekerheid te krijgen over de juistheid van deze veronderstelling werd met behulp van EDX de samenstelling van beide helften bepaald.

Beiden helften bleken van eenzelfde soort lood-brons (een legering van lood, koper en tin) te zijn gemaakt, een veelgebruikte legering in de Romeinse tijd. Een groot opgezet onderzoek naar de samenstellingen van bronzen voorwerpen in Groot Brittannië²⁴ liet zien dat dergelijke lood-bronzen ongeveer een kwart uitmaakten van alle bronzen. Het erg lage tingehalte maakt de legering bovendien nog zeldzamer.²⁵ De kans dat beide delen bij elkaar horen, is dus significant groter geworden. Hoewel geen absolute zekerheid



verkregen werd, worden beide fragmenten nu toch met wat meer zelfvertrouwen in museum Ceucum tentoongesteld als één enkele sleutel.

Met dank aan de onderzoekers van Philips Lighting (G. Solleveld, L. Vugts, C. Manders en J. Bolten) en Philips Analytical (C. van der Marel, J. Jansen en H. Wondergem) voor hun enthousiaste en belangeloze medewerking.

Verver 71
5506BJ Veldhoven
www.mergorinmosam.nl

Afb. 6
Romeinse sleutel-fragmenten; schaalverdeling in cm
(Foto Laurens Mulken).

Noten

- 1 Stichting Mergor in Mosam, Resultaten van verkenningen en bergingen in de Maas nabij de Romeinse brug bij Cuijk, te publiceren in 2006.
- 2 Kahanov, Doherty en Shalev 1999, 277-288.
- 3 Dharmasri 2004, 624-632.
- 4 Mailcorrespondentie met C. Salter, 2005, Oxford Materials Characterisation Service, Department of Materials, Oxford.
- 5 Met dank aan Nientker en Joosten, ICN / Netherlands Institute for Cultural Heritage, Amsterdam.
- 6 Een proces van tientallen tot honderden miljoenen jaren, *Archaeologia Aeliana* 1994, 265-272.
- 7 Er bestaan veel technieken, waarvan FT-IRS betrekkelijk nieuw is, Watts en Pollard. 1995, 37-52.
- 8 Pollard en Bussell 1981, 139-167.
- 9 Goudswaard 2001, 461-463.
- 10 Joosten, PhD thesis 2004, 11.
- 11 Er bestaan meer voorbeelden, maar Delhi is de bekendste, Tylecote 1984, 60; G. Wranglen, 121.
- 12 Van Wazer 1961, 1823-1855; Nog te publiceren resultaten: Wanhill R., Seinen P.A., Rijkenberg A., Meijer R. in *Journal of Historical Metallurgical Society*.
- 13 Selwyn 1999, 217-232.
- 14 Campbell 1984, 21-29.
- 15 Mailcorrespondentie met P. Kiden, Toegepast Natuurweten-

- schappelijk Onderzoek; J. Vervloet; G. Maas, WU laboratorium voor bodemkunde en geologie, (2005).
- 16 Selwyn 1999, 217-232.
 - 17 Weast 1988.
 - 18 Joosten, Bijdragen 2000, 163-168.
 - 19 Joosten, Bijdragen 2000, 163-168; Rehren 1999, 263-272.
 - 20 Internet, Google, zoektermen "Roman", "Pottery", "Mica" (2005).
 - 21 Joosten, Bijdragen 2000, 163-168; Rehren 1999, 263-272; Soederberg 2004, 115-124.
 - 22 Joosten, PhD thesis 2004, 56-57; Tylecote 1984, 56.
 - 23 Joosten, PhD thesis, 2004, 8; Mailcorrespondentie met Godfrey E., 2005 Conservation, Department of Historic Preservation, University of Mary Washington.
 - 24 Mailcorrespondentie met Justine Bayley, 2006, English Heritage Fort Cumberland, Fort Cumberland Road Eastney. Het betreft hier een database van meer dan 3000 Romeinse sierraden.
 - 25 Mailcorrespondentie met Peter Northover, 2006, Materials Science-Based Archaeology Group, Department of Materials, University of Oxford.

Literatuur

- Archaeologia Aeliana*, 5th, 1994, series, volume XXII, Society of Antiquaries Newcastle, 265-272.
- Campbell, J. en F. Fahy, 1984: *Journal of Historical Metallurgical Society*, 21- 29.
- Dharmasri, L., 2004: Pyrite formation in Louisiana coastal marshes. Scanning Electron Microscope and X-ray diffraction evidence, *Soil Science*, 169, (9), 624-632.
- Goudswaard, B., 2001: *Proceedings of the National Service for Archaeological Heritage in the Netherlands*, 44, 461-463.
- Joosten, I., 2004: *Technology of Early Historical Iron Production in the Netherlands*, PhD thesis Institute for Geo- and Bioarchaeology, VU Amsterdam.
- Joosten, I., 2000: *Bijdragen aan Specialistisch Archeologisch Onderzoek*, 3, Arko Uitgeverij BV, Deventer, 163-168.
- Kahanov, Y., C. Doherty en S. Shalev, 1999: The metal nails from the Ma'agan Mikhael ship. *The International Journal of Nautical Archaeology* 28, 3, 277-288.
- Pollard, A.M. en G.D. Bussell, 1981: The analytical investigation of early bronze age jet and jet-like material from the devizes museum, *Archaeometry*, 23, 2, 139- 167.
- Rehren, T., 1999: Cupel and Crucible: The refining of debased silver in the Colonia Ulpia Traiana, Xanten, J. *Roman Archaeology*, 12, 263- 272.
- Selwyn, L.S., 1999: The Corrosion of excavated Archaeological Iron with details on Weeping and Akaganeite, *Studies in Conservation*, 44, 217-232.
- Soederberg, A., 2004: Metallurgic ceramics as a key to Viking Age workshop organisation, *Journal Nordic Archaeological Science* 14, 115-124.
- Tylecote, R.F., 1984: *A History of Metallurgy*, Metals Society London, 53-63.
- Watts, S. en A.M. Pollard 1995: *Identifying archaeological jet and jet-like artifacts using FTIR*, Postprints, Department of Archaeological Sciences, University of Bradford, 37-52.
- Wazer, J.R. van, 1961: *Phosphorus and it's Compounds*, 2, Interscience Publishers Inc, New York, 1823-1855.
- Weast, R.C., 1988: *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, Florida.
- Wranglen, G., 1965: *An Introduction to Corrosion and Protection of Metals*, 121, Chapman and Hall.