Tomografie in Delft

met behulp van Röntgens of neutronen

Lambert van Eijck (en Dominique Ngan-Tillard)

TU Delft

Geplande presentatie Dominique: smeltkroezen

Een dubbele ver(r)assing

SMELTKROESJES UIT DE IJZERTIJD UIT TILBURG – SPORTCOMPLEX SPOORDIJK



Afbeelding 1. Beeld van de veldsituatie. Foto: Frans van Nuenen.

Het was toeval. De archeologische begeleiding van de uitbreiding van het Tilburgse sportcomplex Spoordijk had slechts enkele sporen en vondsten uit de ijzertijd opgeleverd en was afgesloten. Frans van Nuenen, vrijwilliger in de archeologie, inspecteerde na afloop van de werkzaamheden echter nog eenmaal het terrein en vond in het talud van een nieuwe waterpartij een grote, zwarte vlek. De gemeente pakte de waarneming meteen op en liet een kleinschalige opgraving uitvoeren om de kuil te documenteren en de vondsten te bergen (afbeelding 1). Het bleek om een flinke kuil te gaan, vol met houtskool en prehistorisch aardewerk. Een ^{14}C-datering van verkoolde zaden maakt duidelijk dat de kuil stamt uit de tweede helft van de vijfde eeuw voor Chr. Vorm en versiering van het aardewerk uit de kuil onderstrepen deze datering in de midden-ijzertijd. Tussen het vondstmateriaal werd een aantal opvallende en onbekende voorwerpen aangetroffen: complete en gebroken, eivormige, holle objecten met een klein gat in de punt en een verglaasde buitenkant. Wat zijn dit?

Hans Huisman | Alicia Boch | Ineke Joosten | Dominique Ngan-Tillard en Guido van den Eynde

Onderzoek van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed en de faculteit Civiele Techniek en Toegepaste Aardwetenschappen van de TU Delft maakt duidelijk dat het heel bijzondere vondsten betreft. Er zijn slechts enkele parallellen bekend uit Nederland. Beeden, en uit het buitenland, Frankrijk, Condé-sur-Ifs, Duitsland, Keulen en Aldenhove-Niedermerz, en Zwitserland. Ze zijn geen van alle onderwerp van uitvoerig natuurwetenschappelijke onderzoek geweest. Het onderzoek van de Keulse exemplaren maakt duidelijk dat ze mogelijk gebruikt werden om koperlegeringen te smelten. Op welke functie wijzen de Tilburgse vondsten?

De Tilburgse vondsten geven nieuw inzicht in verschillende aspecten van de metallurgie in de ijzertijd

'EIEREN'

In totaal zijn resten van tenminste dertien eivormige objecten aangetroffen. Enkele 'eieren' zijn compleet en onbeschadigd, maar de meeste zijn gebroken en onvolledig bewaard gebleven. Ze meten ca. 9 bij 6 cm. Ze hebben in de punt een ronde opening met een doorsnede van ca. 7 mm (afbeelding 2). Het volume van de holte is 11 tot 17,5 cm^3. De fragmenten laten zien dat de voorwerpen uit een aantal samenhangende delen bestaan. De kern wordt gevormd door een keramisch schuitje met een platte bodem. Het heeft aan de ene kant een scheikuitje en is aan de andere kant gesloten. Het schuitje wordt omringd





Afbeelding 2. Drie smeltkroezen uit de midden-ijzertijd van Tilburg – Sportcomplex Spoordijk.

Delft

Radiografie

- geeft een 2D transmissieplaatje (bijv. Röntgenfoto bij de tandarts, maar kan ook met andere straling)





Tomografie scan

- gebaseerd op radiografieën vanuit alle hoeken 0-360deg
- maakt van die set 2D transmissieplaatjes een 3D model: ook wel CT scan (computed tomography)

Tomografie resultaat

- resultaat is een 3D computer model
- het 3D model kan in plakjes gesneden worden (tomogram)

Keuze stralingsbron bepaalt wat je ziet

Attenuation coefficients for X-ray [cm^{-1}] (150kV)

1a	2a	3b	4b	5b	6b	7b	8			1b	2b	3a	4a	5a	6a	7a	0
H																	He
0.02																	0.02
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
0.06	0.22											0.28	0.27	0.11	0.16	0.14	0.17
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
0.13	0.24											0.38	0.33	0.25	0.30	0.23	0.20
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
0.14	0.26	0.48	0.73	1.04	1.29	1.32	1.57	1.78	1.96	1.97	1.64	1.42	1.33	1.50	1.23	0.90	0.73
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
0.47	0.86	1.61	2.47	3.43	4.29	5.06	5.71	6.08	6.13	5.67	4.84	4.31	3.98	4.28	4.06	3.45	2.53
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
1.42	2.73	5.04	19.70	25.47	30.49	34.47	37.92	39.01	38.61	35.94	25.88	23.23	22.81	20.28	20.22		9.77
Fr	Ra	Ac	Rf	Ha													
	11.80	24.47															

	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
*Lanthanides	5.79	6.23	6.46	7.33	7.68	5.66	8.69	9.46	10.17	10.91	11.70	12.49	9.32	14.07
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Vf	Es	Fm	Md	No	Lr
**Actinides	28.95	39.65	49.08											

Figure 4: Röntgen

Attenuation coefficients for thermal neutrons [cm^{-1}]

1a	2a	3b	4b	5b	6b	7b	8			1b	2b	3a	4a	5a	6a	7a	0
H																	He
3.44																	0.02
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3.30	0.79											101.60	0.56	0.43	0.17	0.20	0.10
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
0.09	0.15											0.10	0.11	0.12	0.06	1.33	0.03
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
0.06	0.08	2.00	0.60	0.72	0.54	1.21	1.19	3.92	2.05	1.07	0.35	0.49	0.47	0.67	0.73	0.24	0.61
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
0.08	0.14	0.27	0.29	0.40	0.52	1.76	0.58	10.88	0.78	4.04	115.11	7.58	0.21	0.30	0.25	0.23	0.43
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
0.29	0.07	0.52	4.99	1.49	1.47	6.85	2.24	30.46	1.46	6.23	16.21	0.47	0.38	0.27			
Fr	Ra	Ac	Rf	Ha													
	0.34																

	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
*Lanthanides	0.14	0.41	1.87	5.72	171.47	94.58	1479.04	0.93	32.42	2.25	5.48	3.53	1.40	2.75
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
**Actinides	0.59	8.46	0.82	9.80	50.20	2.85								

Figure 5: neutronen

TU Delft

Voorbeeld gevoeligheid neutronen



TU Delft

Voorbeeld gevoeligheid neutronen

Onderzoek glazen pijpje met Röntgen en neutronen

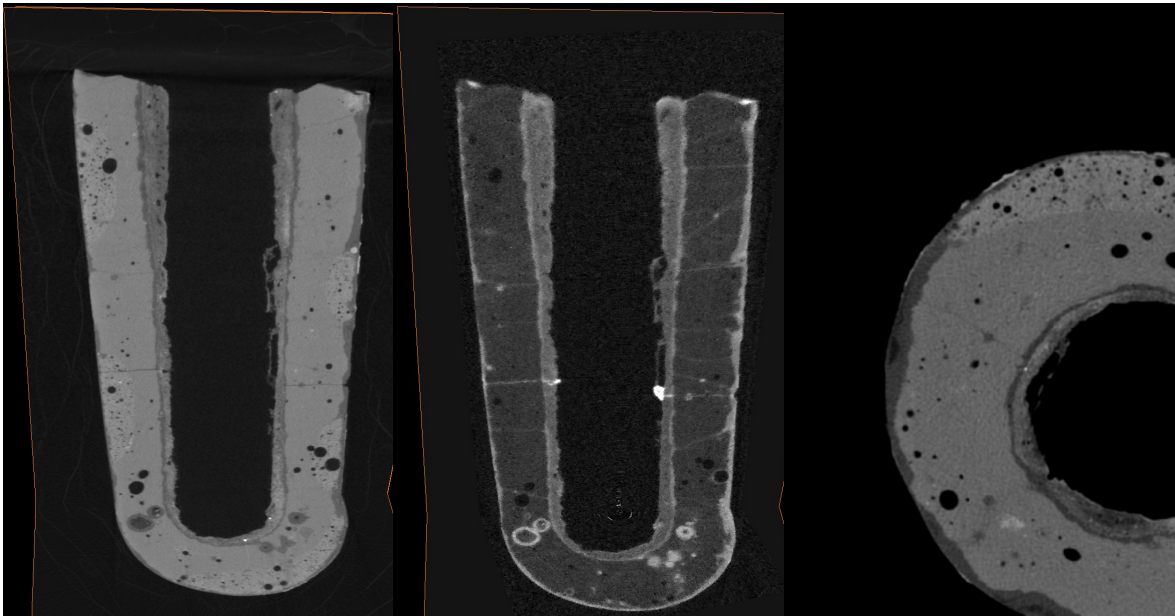


Figure 7: architectuur decoratie in Choga Zanbil (Iran), E-RIHS.nl project met Allard Pearson UvA

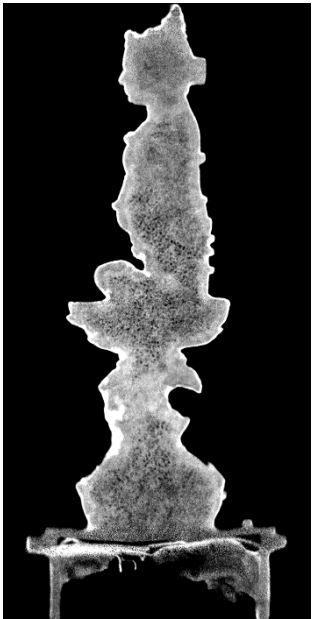
Note

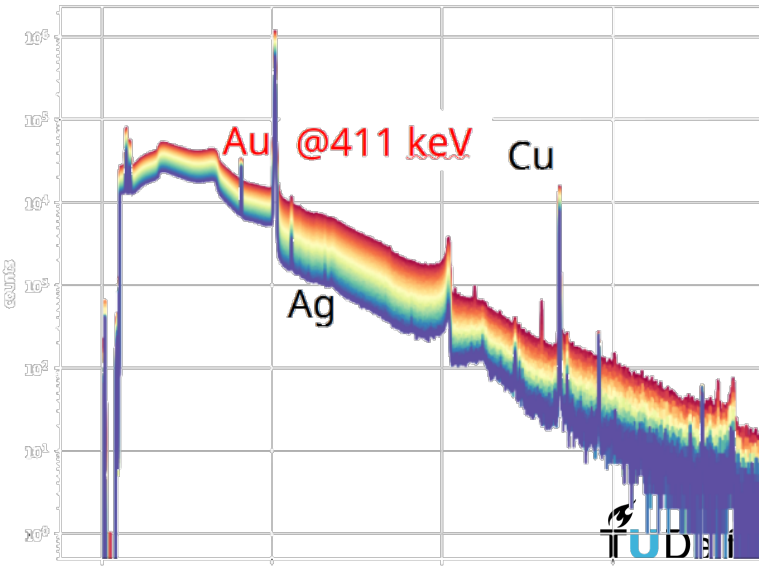
https://e-rihs.nl/wp-content/uploads/2024/01/archeologie-glas-Eindrapport.pdf
Recent Advances in Glass and Ceramics Conservation 2022, 6th Interim Meeting of the ICOM-CC Glass and Ceramics Working Group

Glazen pijpje met Röntgen en neutronen



Neutronen maken radioactiviteit





Radioactiviteit levert samenstelling

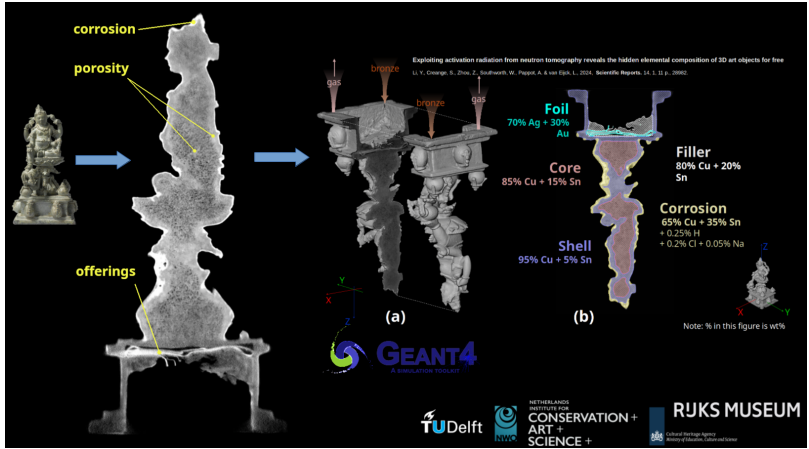


Figure 13: Inwendige samenstelling bepaald uit de radioactiviteit

Conclusies over de technieken

- het object bepaalt welke techniek nuttig is
- Röntgen en neutronen zijn ongeveer complementair
- Röntgen heeft doorgaans betere resolutie
- gammaspectroscopie van geïnduceerde radioactiviteit levert samenstelling van de bulk op

Voorbeeld 1 Egyptische votieve doodskist

Museo Egizio, Turijn, Italie

Voorbeeld 2 Protobijl of baar?





elft

Voorbeeld 2 Protobijl of baar?

Voorbeeld 2 Protobijl of baar?

Comparison with ICMPS and XRF

	Cu %	Pb %	Sn %	Ag ppm	Ni ppm	As ppm	Sb ppm	Zn ppm	P ppm
ICPMS	85.9683	0.146	12.7836	446	1922	7773	345	64	-
xrf surface	56.00	0.65	39.94	0.15	0.16	2.64	0.04	0.06	
xrf drilled sample	85	0.21	13	403	1836	9706	145	1664	
NT+GS	90.62	-	8.7	?	-	5736	580	-	-

	Cr ppm	Mn ppm	Fe ppm	Co ppm	Se ppm	Cd ppm	Te ppm	Au ppm	Bi ppm	Total ICPMS	In ppm	Na ppm	Cl ppm
ICPMS	-	4.5	303.3	146.2	9	0.1	6	1	3	91	-	-	-
xrf surface			1900.00	0.00					0.00		-	-	-
xrf drilled sample			400	67					0.00		-	-	-
NT+GS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.72	232	320

Samenvatting

- neutronentomografie is complementair aan X-ray CT
- gammaspectroscopie is ‘als XRF’ voor de bulk vh materiaal
- via neutron+gamma kan de `maagdelijke` structuur en samenstelling bepaald worden
- door slimme data-fusie is het kwantitatief
- combineren van meettechnieken levert “meer dan de som van . . . ”

TU Delft

Vooruitzicht

Met Centre Céramique Maastricht, Liesbeth, Bertil

TU Delft

Vooruitzicht

porositeit hielbijl DB2252 met RCE en RUGroningen

TU Delft