

Keramisch bouw materiaal thermen Heerlen – Gemeente Heerlen

Onderzoek naar keramisch bouw materiaal

T. Vanderhoeven, E.A.K. Kars & B.J.H. van Os

Rapport 2016-022 EARTH Integrated Archaeology

Opdrachtgever Gemeente Heerlen

© 2018 www.earth-arch.eu

COLOFON

EARTH Integrated Archaeology

Keramisch bouw materiaal thermen Heerlen – Gemeente Heerlen
Onderzoek naar keramisch bouw materiaal

Auteur:

T. Vanderhoeven, E. Kars & B. van Os

In opdracht van: Gemeente Heerlen

© EARTH Integrated Archaeology Amersfoort, juni 2018

Foto's en tekeningen: EARTH Integrated Archaeology, tenzij anders vermeld.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgevers.

EARTH Integrated Archaeology aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit de toepassing van de adviezen of het gebruik van de resultaten van dit onderzoek.

ISSN 2211-1077

EARTH Integrated Archaeology

Tel 033-4554127

Basicweg 19

3821 BR Amersfoort

Email contact@earth-arch.eu

Colofon	3
Inhoudsopgave	5
Samenvatting	8
1 Inleiding	10
1.1 Aanleiding van het onderzoek	10
1.2 Doel en opzet van het onderzoek	10
1.3 Onderzoeksvragen	10
2 Onderzoeksmethode	12
2.1 Inleiding	12
2.2 Methodiek	13
2.3 Beschikbaar onderzoeksmateriaal	16
2.4 Toepassing van de onderzoeksmethodiek op het materiaal uit Heerlen	17
3 Baksels	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Bakselgroepen	21
3.3 Baksels per dataset	28
3.4 Vergelijking met baksels van andere sites	29
4 XRF onderzoek	32
4.1 Inleiding	32
4.2 Resultaten XRF-analyses en clusteranalyse	32
4.3 Interpretatie	34
4.4 Conclusies en interpretatie	35
5 Vormen, typen en maten	37
5.1 Inleiding	37
5.2 Dakpannen	37
5.3 Tegels	43
5.4 Overige vormen	48
5.5 Conclusie	53
6 Indrukken	54

6.1	Inleiding	54
6.2	Stempels, signaturen en rekenmerken	54
6.1.1	Stempels.....	54
6.1.2	Signaturen	65
6.3	Onbewuste indrukken	67
6.4	Conclusie.....	71
7	Fragmentatie en verwerking	73
7.1	Museumcollectie van het thermenterrein	73
7.2	Ex-situ materiaal uit het badgebouw	73
7.3	Opgravingsmateriaal uit de opgravingen 2017/2018	73
7.4	In-situ materiaal uit het badgebouw.....	74
7.5	Conclusie.....	74
8	Analyse vormen per ruimte	75
8.1	In-situ observaties	75
8.1.1	Ruimte 1 (buitenmuur)	79
8.1.2	Ruimte 2 (tabernae).....	79
8.1.3	Ruimte 3 (apodyterium).....	80
8.1.4	Ruimte 4 (frigidarium)	81
8.1.5	Ruimte 5 (frigidarium baden).....	84
8.1.6	Ruimte 6 (sudatorium).....	87
8.1.7	Ruimte 7 (tepidarium).....	93
8.1.8	Ruimte 8 (caldarium)	98
8.1.9	Ruimte 9 (alveus).....	106
8.1.10	Ruimte 10 (praefurnium 1)	111
8.1.11	Ruimte 11 (natatio).....	112
8.1.12	Ruimte 12 (oostelijke en westelijke porticus).....	112
8.1.13	Ruimte 13 (palaestra)	113
8.1.14	Ruimte 14 (afvoergoot).....	113
8.1.15	Ruimte 15 (noordelijke porticus).....	117
8.1.16	Ruimte 16 (exedra/opvangbekkens?)	117
9	Conclusies en discussie	118
9.1	Inleiding	118
9.2	Beantwoording onderzoeksvragen	118

9.3	Conclusies	122
	Literatuur	124
Bijlage 1	Muurkolommen	127
Bijlage 2	Pilae van bessales	146
Bijlage 3	Museumcollectie van het thermenterrein	157
Bijlage 4	Toelichting XRF onderzoek	158
Bijlage 5	Resultaten XRF-onderzoek	161
Bijlage 6	Vormen per ruimte	170

Introductie materiaal

Het merendeel van de resten van het badgebouw in Heerlen bestaat uit keramisch bouw materiaal. Keramisch bouw materiaal betreft alle keramische elementen van gebouwen, zoals dakpannen, bakstenen, vloertegels en onderdelen van verwarmingssystemen (zoals afvoerpijpen). Uniek aan keramisch bouw materiaal is dat elke productie zijn eigen baksel heeft. Een baksel is een samenstelling van klei en toevoegingen van organisch of mineraal materiaal. De exacte verhoudingen tussen de verschillende grondstoffen zijn afhankelijk van het type klei, de soorten toevoegingen en de toepassing. Onderzoek naar deze baksels en hun herkomst kan in ons inzicht bieden in productie en logistiek van keramisch bouw materiaal in de Romeinse Tijd.

Onderzoeksmethodiek

Bij het onderzoek is gekeken naar vier verschillende contexten, die in vier verschillende datasets zijn geregistreerd: materiaal uit de museumcollectie van het thermenterrein (133 stuks), ex-situ materiaal (ca. 600 stuks), materiaal uit de opgravingen 2017/2018 (958 stuks) en in-situ materiaal (ca. 12.000 stuks). Het materiaal uit de verschillende contexten is op verschillende wijze verzameld, ontsloten en gedocumenteerd, hetgeen ertoe heeft geleid dat vergelijking tussen de datasets niet op alle aspecten mogelijk is.

Het ex-situ materiaal is gebruikt om een indeling van alle aanwezige baksels op te stellen. Deze dataset is gebruikt voor macroscopisch onderzoek, intensieve bemonstering en XRF-onderzoek om de bakselindeling te verifiëren. Op basis van deze bakselindeling is een vergelijkingsset gemaakt op bakselgroep niveau waarmee in-situ analyses zijn uitgevoerd. Voor het onderzoek naar het in-situ materiaal is gekozen om muren niet volledig te documenteren maar te samplen door meerdere profielkolommen te documenteren van één meter breedte. Daarbij is op basis van de QuickScan een selectie van 15 kolommen verdeeld over alle ruimtes onderzocht. Voor de vloeren is gekozen om te bekijken welke verschillende vormen en baksels aanwezig zijn. Doel hiervan is onder ander om te kijken of het om initiële vloeren (complete vloeren), verbouwingen of reparaties gaat. Voor de hypocaust systemen (de *pilae* van *bessales*) is gekozen deze in zijn geheel te documenteren en te kwantificeren. Doordat de meerderheid van het in situ materiaal ingemetseld is konden niet alle vormeigenschappen worden gedocumenteerd.

Conclusies

Tijdens het bakselonderzoek zijn 25 baksels aangetroffen die macroscopisch ingedeeld zijn in 8 verschillende bakselgroepen. Deze bakselgroepen zijn uit drie verschillende kleisoorten

vervaardigd. Bakselgroep A is hoogstwaarschijnlijk gevormd uit het laagpakket van Reuver (Formatie van Waalre). Bakselgroep B is waarschijnlijk afkomstig uit het laagpakket van Brunssum (Kiezeloöliet formatie). De derde groep betreft de overige bakselgroepen, C, D, F, G en H die hoogstwaarschijnlijk gemaakt zijn uit klei uit het laagpakket van Tegelen (Formatie van Waalre), de baksels zijn chemisch van elkaar te onderscheiden op basis van de wisselende illiet en ijzer gehalten. Alle drie de kleisoorten waren binnen en afstand van 30 km ruim voorhanden.

In het onderzochte materiaal is een duidelijk onderscheid te maken tussen in-situ materiaal dat zich in de funderingen en enkele vloeren van het badhuis bevond en ex-situ materiaal. In-situ komen vooral bakselgroepen B, D en G voor, waarbij de vormen met name bestaan uit tegulae en vloertegels. Er is geen materiaal in-situ aangetroffen dat inzicht biedt in de bovengrondse opbouw van het badhuis.

Ex-situ bevat de collectie een grotere diversiteit aan vormen en domineert bakselgroep A. Materiaal dat ex-situ is aangetroffen is niet met zekerheid afkomstig van het badhuis, maar kan ook afval zijn van nabijgelegen gebouwen. Derhalve kan dit materiaal niet gebruikt worden om conclusies te trekken over de oorspronkelijke opbouw.

Binnen bakselgroep A zijn stukken keramisch bouwmetaal met verschillende stempels aangetroffen, die zowel van civiele als militaire aard zijn (CTEC, MHF en L.XXXVV). Dit is een opvallend verschijnsel. Het is mogelijk dat men gebruik maakte van dezelfde kleibron, echter verklaart dit niet waarom ook de magering van het baksel met zijn specifieke inclusies, de hardheid, afwerking en oppervlaktebehandeling zo goed overeenkomen. De hypothese dat een stempel op een producent duidt komt hiermee ter discussie te staan. Mogelijk duidt het stempel niet op de producent maar op de naam van de tussenhandelaar, de aannemer of de opdrachtgever. Het voorkomen van verschillende stempels op eenzelfde baksel wijst er op dat het hier niet gaat om een kleine lokale pannbakkerij, maar om een groot regionaal productiecentrum. Op basis van de tot nu toe bekende verspreiding van materiaal in baksel A, dient dit productiecentrum nabij Heerlen te hebben gelegen.

Het is ook geconstateerd dat het gestempelde materiaal met stempel L.XXXVV in Heerlen en Aken afwijkt van keramische producten van het 30ste legioen die voorkomen in Xanten, Nijmegen en langs de limes. De laatste producten dragen allen het stempel LEGXXXVV en zijn gefabriceerd in een ander baksel. Het feit dat in verschillende regio's keramisch bouwmetaal voor of door het 30ste legioen werd geproduceerd met verschillende stempels en verschillende baksels biedt ons inzicht in de organisatie van het leger. Nader dient te worden onderzocht of deze productie gelijktijdig plaats vond of niet.

1.1 Aanleiding van het onderzoek

Aanleiding voor het onderzoek is de restauratiewerkzaamheden van het badgebouw in het thermenmuseum. Het Heerlense badgebouw uit de Romeinse tijd is het meest complete antieke gebouw uit die periode in ons land. In de jaren '40 van de 20^{ste} eeuw werd het badgebouw opgegraven onder leiding van amateurarcheoloog dr. H.J. Beckers. Nadien werd prof. Dr. A. E. van Giffen bij het onderzoek betrokken en schreef hij de enige tot nog toe verschenen wetenschappelijke publicatie over het badhuis. Hoewel deze publicatie een goed houvast biedt, is deze vrij summier en zijn vondstmaterialen hierin niet uitgewerkt. De restauratie van het badhuis is een goede aanleiding geweest om dit bouwwerk opnieuw te bestuderen en de individuele materiaalcategorieën, waaronder keramisch bouw materiaal, in detail te bestuderen.

1.2 Doel en opzet van het onderzoek

Het doel van voorliggend onderzoek is het definiëren van alle aanwezige baksels en deze te koppelen aan vormen. Vervolgens is onderzoek gedaan naar het voorkomen van deze objecten per ruimte in het badhuis. Het onderzoek heeft uitsluitend betrekking op de materiaal categorie keramisch bouw materiaal. Deze informatie dient als één van de bouwstenen voor het bouwhistorische onderzoek (zie hoofdstuk XXX).

Nadat de bakselindeling is gedefinieerd is gekeken naar de herkomst van de verschillende baksels van keramisch bouw materiaal. En daarmee de organisatie en logistiek van de bouw van het badhuis. Behalve informatie over dit badhuis is het onderzoek van belang voor toekomstig onderzoek naar vergelijkbare contexten in de regio.

In dit onderzoek worden geen conclusies getrokken met betrekking tot bouwhistorie en chronologie (zie hoofdstuk XXX).

Het onderzoek naar keramisch bouw materiaal is uitgevoerd door Timo Vanderhoeven en Eva Kars. Zij hebben het materiaal vooral beschreven op basis van baksel en het voorkomen van het materiaal in de verschillende contexten en ruimtes van het badhuis. Tevens hebben zij het materiaal ingedeeld op basis van vorm en afwerking. Het XRF-onderzoek naar deze baksels is uitgevoerd in samenwerking met B. van Os van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE).

1.3 Onderzoeksvragen

Voor aanvang van het onderzoek naar keramisch bouw materiaal zijn een groot aantal onderzoeksvragen gesteld. Veelal hebben deze vragen echter geen betrekking op het materiaal zelf maar op de bouwhistorische interpretatie van het materiaal. De belangrijkste onderzoeksvragen ten aanzien van het keramisch bouw materiaal zijn in het onderzoekskader als volgt weergegeven:

- Welke vormen van keramisch bouw materiaal zijn gebruikt in het badhuis en in welke specifieke ruimtes? Is dit naar verwachting en overeenkomstig andere badhuizen, of wijkt Heerlen hierin af? Welke bijzonderheden zijn aanwezig?

- Is er nog materiaal aanwezig dat duidt op constructies van de bovengrondse opbouw als bogen, wanden, koepels, plafonds enz.?
- Zijn er stempels, rekenmerken en/of signaturen voorhanden op het materiaal?
- Is materiaal hergebruikt, beroet of verbrand?
- Waar komt het materiaal vandaan, waar zijn de grondstoffen gewonnen en wie heeft het geproduceerd? Kan de combinatie van macroscopisch onderzoek, XRF-analysen en gestempelde exemplaren hier uitkomst bieden?
- Wat is de technologische diversiteit van het materiaal?

2.1 Inleiding

Onder keramisch bouwmetaal verstaan we alle keramische elementen van gebouwen, zoals dakpannen, bakstenen, onderdelen van verwarmingssystemen, plavuizen en afvoerpijpen. Keramisch bouwmetaal is in het verleden nauwelijks behandeld in de archeologie. Naast de studie van de epigrafie van stempels is er weinig onderzoek verricht naar vorm of herkomst van het metaal. Veel informatie gaat hierdoor verloren.

Slechts een beperkt deel van het keramische bouwmetaal kreeg tijdens de productie een stempel.¹ Volgens Engels onderzoek komen vooral militaire stempels voor op de dakpannen.² Het lijkt er op dat producten voor de civiele markt veel minder vaak van een stempel voorzien.

Een groot gedeelte van het keramische bouwmetaal is vaak sterk gefragmenteerd en kan niet aan een bepaalde vorm worden toegekend. Door het analyseren van vormen en stempels te combineren met bakselonderzoek, in de vorm van macroscopische, microscopische en chemische analyse, ontstaat de mogelijkheid ook het ongestempelde en gefragmenteerde metaal te betrekken bij de interpretatie. Deze onderzoeksmethode is naar Engels voorbeeld opgezet en heeft al veel succes gehad.³

Door het keramisch bouwmetaal volgens dit systeem te analyseren, wordt het mogelijk ook ongestempeld metaal te dateren. Bakselonderzoek in combinatie met epigrafisch onderzoek kan ook de kennis over militaire eenheden in *Germania Inferior* vergroten. Verder is het mogelijk om regionale verschillen in kaart te brengen en de logistiek van keramisch bouwmetaal te onderzoeken.

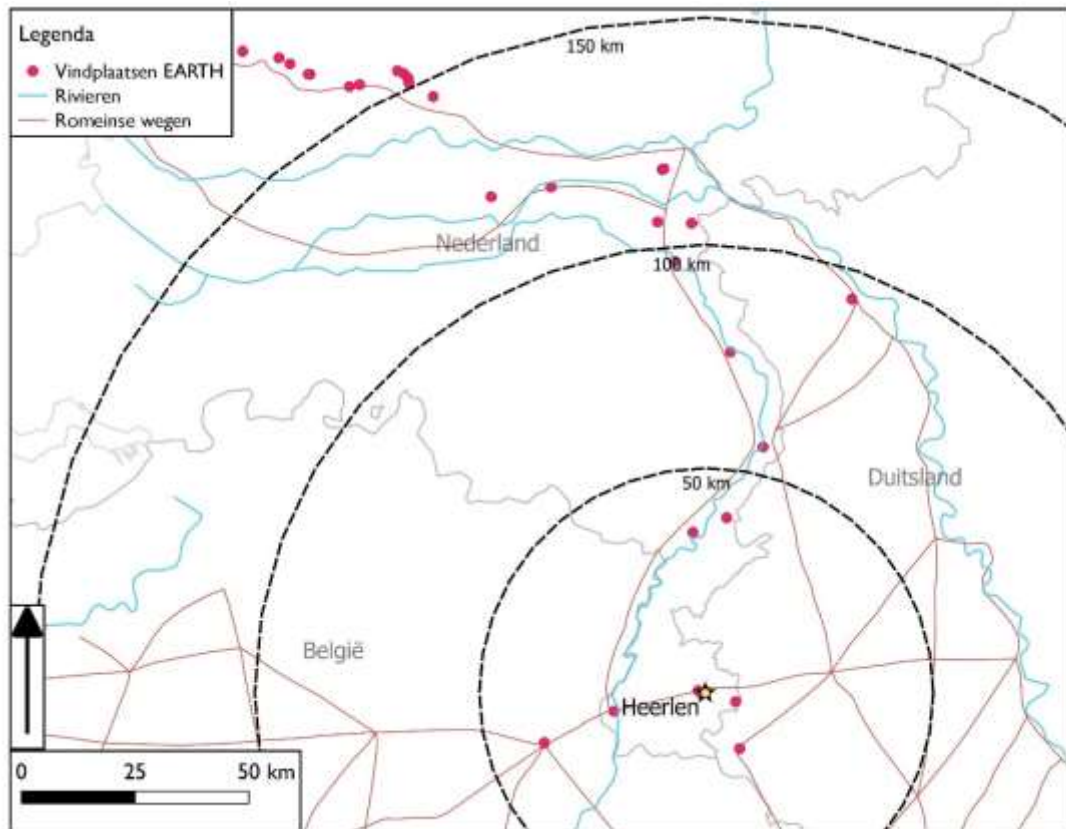
Naast stempels komen ook andere bewuste indrukken, zoals signaturen en rekenmerken, en onbewuste indrukken, zoals van dierenpoten, voor op het metaal. Aan de hand van de aan- of afwezigheid van deze indrukken zouden uitspraken kunnen worden gedaan over de aard van de productie.⁴ Zo kan mogelijk worden vastgesteld of het metaal van een militaire, mobiele of civiele bakkerij afkomstig is.

¹ Uit onderzoek in Woerden is gebleken dat op slechts 0,4% van het totaal aantal aangetroffen fragmenten keramisch bouwmetaal een herkenbaar stempel aanwezig is. Hier is echter geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende vormen van het keramisch bouwmetaal; Kars/Vos 2004, 30.

² Warry 2006, 138.

³ Kars/Vos 2004, 32; Het systeem is gebaseerd op het determinatiesysteem dat het Museum of London Archaeological Service gebruikt. I. Betts (MoLas), mondelinge mededeling.

⁴ Cram & Fulford 1979, 208-209.



Figuur 1 Door EARTH onderzochte vindplaatsen in de referentiecollectie; in blauw de rivieren, in rood het Romeins wegennetwerk.

2.2 Methodiek

Voor het onderzoek naar keramisch bouw materiaal heeft EARTH een vaste methodiek ontwikkeld welke wordt toegepast op alle door ons onderzochte vondstcomplexen. Voor de vergelijkbaarheid van vondstcomplexen is het van belang dat consequent dezelfde werkwijze wordt toegepast. Het onderzoek van EARTH bestaat uit de volgende stappen:

1) Beschrijven van de aanwezige vormen en benoemen van op het oog herkenbare baksels

De fragmenten worden, waar mogelijk, ingedeeld in typen bouw materiaal. Dikten en volledig bewaarde zijden of doorsneden worden opgemeten en de fragmenten worden gewogen. Daarnaast wordt gekeken naar de fragmentatie van het materiaal, wat iets over de depositie van het materiaal kan vertellen. Zo kan op basis van de mate van fragmentatie en vertering onderscheid gemaakt worden tussen primair en secundair (gebruikt) materiaal. Het keramisch bouw materiaal is op grond van de grootste afmeting ingedeeld in vijf verschillende klassen: zeer klein (kleiner dan 10 mm), klein (10–40 mm), middelgroot (40–60 mm), groot (60–100 mm) en zeer groot (groter dan 100 mm).

Per object wordt vastgesteld in welk baksel de vorm is uitgevoerd, waarbij de baksels worden beschreven in op het oog herkenbare eigenschappen.

Voorts is geïnventariseerd of er bewuste en/of onbewuste indrukken voorkomen. Civiele en militaire stempels geven directe informatie over de aard van het productiecentrum, maar ook andere indrukken kunnen daar aanwijzingen voor leveren.

Tot slot wordt gekeken naar de ruimtelijke spreiding van het keramische bouw materiaal en de verhouding tot verschillende sporen.

2) Bemonsteren en bestuderen van de aanwezige baksels/producties

De aanwezige baksels worden macroscopisch beschreven (met loep 10x vergroting) op basis van de aanwezige inclusies, de textuur van het baksel, de matrix en de textuur van het oppervlak. De kleur van het baksel wordt (oppervlak en binnenkant snijvlak) aangegeven volgens Munsell colorchart.⁵ Een indeling op basis van kleur is vanuit een technologisch oogpunt niet altijd zinvol, aangezien de kleur zelfs bij eenzelfde productiemethode sterk kan variëren.⁶ Ook als kleuren variëren, variëren zij binnen bepaalde *hue* (tint) volgens Munsell systeem.

Van de matrix worden de korrelgrootte en porositeit beschreven. Voor de korrelgrootte van de matrix en de grootte van de poriën worden dezelfde klassen gehanteerd als voor de inclusies. Bij de analyse wordt gebruik gemaakt van een schema voor het schatten van de percentages en het bepalen van de sortering van de inclusies⁷; daarnaast worden de sortering, grootte, vorm en kleur beschreven. De grootte wordt onderverdeeld in zeer fijn (kleiner dan 0,5 mm), fijn (0,5–2 mm), middelgroot (2–5 mm), grof (5–8 mm) en zeer grof (groter dan 8 mm)⁸. Het oppervlak is beschreven in termen als glad, ruw en poederig. De hardheid van het baksel wordt bepaald aan de hand van de schaal van Mohs⁹.

Het bakselonderzoek levert een groot aantal op het oog onderscheidende baksels op, die aan de hand van overeenkomsten tussen de verschillende baksels worden herleid tot bakselgroepen.

Per bakselgroep worden de aanwezige vormen en maatvoeringen beschreven. De combinatie van vorm, maatvoering, afwerking en baksel kan als een afzonderlijke productie worden beschouwd.

3) Verifiëren van de indeling in baksels/producties met XRF

Als onderdeel van het onderzoek van het keramische bouw materiaal, is na het opstellen van de macroscopische bakselindeling XRF-onderzoek verricht om de indeling in bakselgroepen te toetsen. De te onderzoeken hypothese hierbij is dat de baksels binnen een bakselgroep dermate grote overeenkomsten vertonen wat betreft klei en magering, dat aangenomen mag worden dat deze afkomstig zijn uit dezelfde productie (productieplaats / productieregio en/of producent). Tevens dient in het XRF-onderzoek te worden getoetst of het onderscheid in acht bakselgroepen ook terug te zien is in het chemische beeld van het materiaal. Tot slot is gekeken in hoeverre XRF-onderzoek uitsluitel kan geven omtrent de herkomst van de grondstof waar het keramisch bouw materiaal uit is vervaardigd.

⁵ Munsell Color Company 1954.

⁶ Rye 1981, 119.

⁷ Orton, Tylers & Vince 1993, 238, fig. A4, A5 en A6.

⁸ Soil Survey Staff 2007, 25, 36 & 80.

⁹ Orton, Tylers & Vince 1993, 233.

Een baksel is een samenstelling van klei en toevoegingen of inclusies van organisch of mineraal materiaal. Het toeslagmateriaal (magering of verschraling) zorgt voor stevigheid en voorkomt dat het materiaal krimpt en scheurt tijdens het bakproces. De magering bestaat vaak uit grove kwarts en chamotte (gebakken klei), maar ook zand, organisch materiaal, as of schelp. De exacte verhoudingen tussen de verschillende grondstoffen zijn afhankelijk van het type klei, de soorten toevoegingen en de toepassing.

De voornaamste grondstof die wordt gebruikt voor dakpannen, klei, bestaat uit kleimineralen, illiet vooral in onze klimaatzone en daarnaast zand, hoofdzakelijk samengesteld uit kwarts, zware mineralen zoals rutiel en zirkoon en eventueel kalk. Kleimineralen zijn aluminosilicaten en bevatten de elementen Si, Al, K, Mg, Na, Ca en Fe als hoofdelementen, evenals spoorelementen zoals Rb, Sr, Zn, Cu en Pb.¹⁰ In het zanddeel is voornamelijk kwarts (SiO₂) aanwezig en afhankelijk van de korrelgrootte min of meer zware mineralen die de elementen Zr en Ti (O₂) bevatten. Kalk kan ook voorkomen in de klei en bestaat uit CaCO₃. Ook komen de elementen Sr en Ba in de kalk voor. Ook kan de magering effect hebben op de chemische samenstelling: Het toevoegen van zand zal ervoor zorgen dat het kleimineralen gehalte relatief lager wordt. Het toevoegen van chamotte, indien het een gelijke korrelgrootte heeft, zal de samenstelling niet veranderen.

Het uitgangspunt voor het XRF-onderzoek is de gedachte dat de verhoudingen tussen de verschillende typen magering en de klei typerend zijn voor een bepaald baksel (productiemethode), die gekoppeld zijn aan tradities behorende bij een bepaalde periode of een bepaald gebied. Chemische karakterisering zou dit kunnen ondersteunen, indien blijkt dat de verschillende baksels ook een andere samenstelling hebben. Om dit vast te stellen is, behalve het construeren van x-y diagrammen van de verschillende elementen met daarin aangegeven de gevonden bakselgroepen, een fuzzy C-means cluster analyse uitgevoerd.¹¹

Alle metingen zijn uitgevoerd onder laboratorium omstandigheden.¹² De XRF is gemonteerd in een vaste tafel met loden mantel waardoor een vaste monsterpositie is verkregen. De monsterpositie is per meting vastgelegd met een ingebouwde camera. Optimale meet condities voor een oxide matrix zijn:

- een vlak monster
- zo homogeen mogelijk monster
- schoon oppervlak
- korrelgrootte <20µm
- "oneindig" dik monster voor elementen Z>25
- droog
- voor lichte elementen; zo weinig mogelijk mineralogische variatie

Om hier zoveel mogelijk aan tegemoet te komen zijn voor dit onderzoek de monsters doorgezaagd met een diamantsteen zaag waardoor een vlak en schoon oppervlakte ontstond. Vervolgens is tijdens

¹⁰ Taylor en McLennan 1985.

¹¹ Hanesch, Scholger & Dekkers 2001; Vriend e.a. 1988; Walraven e.a. 1997.

¹² Voor toelichting op het XRF onderzoek zie Bijlage 4.

de meting gelet op de oriëntatie van de monsters waarbij een zo representatief mogelijk oppervlak is geselecteerd en gelet werd om zo min mogelijk grote korrels of textuurovergangen te meten.

4) Onderzoeken herkomst baksels/producties

De Nederlandse klei is het afzettingsproduct van het achterland van de Rijn en de Maas, tenzij het oudere afzettingen (tertiaire klei) betreft die onder andere klimatologische omstandigheden zijn afgezet¹³. De voornaamste chemische variatie in holocene kleien wordt bepaald door variatie in korrelgrootte en niet zozeer door verschillen in mineralogie. Fijner sediment bevat meer kleimineralen en zal een hoger kleigehalte hebben. In grover materiaal zal dit meer zand (vooral kwarts) bevatten. Onderzoek naar de exacte herkomst van klei is lastig omdat de mineralogie nauwelijks varieert. In een gebied met een gevarieerde plaatselijke niet-sedimentaire geologie en verwerking zal deze mineralogische en dus chemische variatie veel groter zijn. Wel zijn er in Limburg kleipakketten uit verschillende perioden aanwezig: naast Holocene maasklei, zijn er de Pliocene kleien van Reuver en Brunssum (Kieselooliet formatie) die soms een hoog titaan gehalte¹⁴ bevatten en het kleimineraal kaolien en de laat Pliocene/ vroeg Pleistocene Tegelen klei (formatie van Waalre)¹⁵, die plaatselijk sterk ijzerhoudend is door de aanwezigheid van sideriet (FeCO_3) soms afgewisseld met kalkhoudende lagen¹⁶. Ook lokale riviersystemen zoals dat van de Geul kunnen een specifieke chemische samenstelling beïnvloeden. De Geul ontspringt in België en stroomt via Duitsland door een gebied waar ook formaties met een verhoogd zinkgehalte voorkomen. Uit onderzoek¹⁷ is gebleken dat ook voor de zinkmijnbouw in La Calamine (België) al verhoogde zink (maar geen lood) gehalten voorkomen in sedimenten van de Geul.

Door de bestudering van de aanwezige metalen in de baksels in vergelijking met bekende data over bodemafzettingen in de Nederlandse ondergrond wordt nagegaan welk herkomst de grondstof kan hebben. Daarnaast worden de baksels en producties (combinatie van vorm, maatvoering, afwerking en baksel) vergeleken met het materiaal dat in de referentiecollectie van EARTH aanwezig is. Hiermee wordt getracht de herkomst van de producties te bepalen.

2.3 Beschikbaar onderzoeksmateriaal

Het onderzoek behelst in feite vier verschillende contexten:

1) Museumcollectie van het thermenterrein:

Allereerst is er de museumcollectie van het thermenterrein die bestaat uit zorgvuldig gedocumenteerde items die bijzonder genoeg zijn bevonden om te worden opgenomen in een museumcollectie. Voor bouw materiaal betekent dit veelal dat het om stukken gaat met bijzondere kenmerken, zoals opvallende vormen, stempels, indrukken etc. Hoewel dit een bron van informatie is, kan deze collectie niet als representatief voor het geheel worden beschouwd. Dit komt enerzijds

¹³ Zagwijn 1985.

¹⁴ Westerhoff 2003.

¹⁵ Westerhoff & Weerts 2003.

¹⁶ Huisman e.a. 2000.

¹⁷ Stam 2009.

doordat het enkel om bijzondere vondsten gaat. Anderzijds gaat het grotendeels om vondsten waarvan de context niet specifiek is, dan dat de stukken afkomstig zijn van het thermenterrein.

2) **Ex-situ materiaal van het thermenterrein:**

De tweede dataset behelst een grote hoeveelheid ex-situ materiaal dat uit het badhuis is gekomen bij de opgravingen in de jaren '40, '50, en '70 van de vorige eeuw. Deze verzameling materiaal is niet gedocumenteerd en daarom ook niet opgenomen in de museumcollectie. De reden hiervoor is dat men indertijd waarschijnlijk niet de onderzoekswaarde van dit materiaal heeft ingezien. Deze verzameling materiaal is kortom niet 'bijzonder' genoeg bevonden om te worden opgenomen in de museumcollectie en bestaat grotendeels uit *tegulae* (vlakke dakpannen) en *lateres* (tegels) Deze dataset lijkt meer representatief dan de museumcollectie en komt wat betreft vormen en baksels meer overeen met het materiaal dat zich nog in situ bevindt. Desalniettemin is ook van dit materiaal de exacte context zeer onduidelijk. Aangezien deze verzameling een lage museale waarde heeft en geen onderdeel uitmaakt van de museumcollectie, mocht dit materiaal worden gebruikt voor bakselonderzoek.

3) **Opgravingsmateriaal uit de opgravingen 2017/2018:**

De derde dataset betreft keramisch bouwmetaal dat afkomstig is uit de opgravingen die in 2017 en 2018 zijn uitgevoerd door RAAP ten behoeve van huidig onderzoek. Hierbij zijn doelgericht op een aantal locaties proefsleuven gegraven om antwoord te krijgen op openstaande onderzoeksvragen. Hoewel dit materiaal voor een groot deel uit losse vondsten bestaat, is een deel hiervan afkomstig uit gesloten contexten waarin een zekere fasering is vastgesteld.

4) **In-situ materiaal:**

Tot slot is er de vierde dataset die bestaat uit al het keramisch bouwmetaal dat zich nog in situ bevindt in de funderingen, vloeren, goten en andere contexten in het badhuis. Deze dataset is van grote informatiewaarde aangezien het materiaal zich nog in situ bevindt en inzicht kan verschaffen in de opbouw en fasering van het badhuis.

2.4 Toepassing van de onderzoeksmethodiek op het materiaal uit Heerlen

Door de beschikbare middelen en toegankelijkheid van het materiaal kon het onderzoek niet volledig uitgevoerd worden conform de door EARTH gepropageerde gestandaardiseerde onderzoeksmethode. Hierbij zijn per context bepaalde keuzes gemaakt, waarbij getracht is om de belangrijkste informatie uit de objecten te halen. De specifieke onderzoeksmethodiek per context wordt hieronder toegelicht. Van belang is om hierbij te beseffen dat de museumcollectie van het thermenterrein uit 133 vondsten bestaat, het ex-situ materiaal uit ca. 600 stuks, het opgravingsmateriaal uit 958 stuks en het bekeken in-situ materiaal ca. 5000 stuks (van ca. 12.000 stuks in totaal). Oftewel ca. 2% van de determinaties is afkomstig uit de museumcollectie, ca. 9% uit de ex-situ verzameling, ca. 14% uit de opgraving en ca. 75% uit het in-situ materiaal. Deze verhouding is van groot belang bij het bepalen van de kenniswaarde en het trekken van conclusies.

1) De museumcollectie van het thermenterrein

De museumcollectie van het thermenteremuseum (133 vondsten) is volledig onderzocht conform de gestandaardiseerde onderzoeksmethodiek van EARTH. Zoals eerder gesteld betreft dit, grotendeels

contextloze, vondsten die bijzonder genoeg zijn bevonden om te worden opgenomen in de museumcollectie. Deze vondsten hebben elk een uniek vondstnummer gekregen. Wat betreft bouw materiaal is het duidelijk dat er bij de opgravingen een grove selectie heeft plaatsgevonden, waarbij voor keramisch bouw materiaal enkel de stukken zijn bewaard die bijzondere eigenschappen hebben. Zo zijn stukken bewaard die compleet zijn of stukken met opvallende vormen, stempels en indrukken. Daarnaast bestaat de meerderheid van dit materiaal niet uit destijds in situ gevonden onderdelen van het opgegraven badhuis, maar uit los materiaal dat zich op het thermenterrein bevond. De vondsten kunnen dan ook niet aan contexten worden toegewezen maar moeten als 'losse vondsten' worden beschouwd. Zodoende kan deze dataset niet als representatief worden gezien voor het gehele badhuis. Door de aanwezige bijzondere vormen en het feit dat het veelal om los materiaal gaat, kan het mogelijk wel inzicht bieden in de oorspronkelijk bovengrondse bouw van het badhuis en in de wijze van wandopbouw en -verwarming (*tubuli*, half-tile boxes etc.). Hierbij is echter wel voorzichtigheid geboden aangezien niet met zekerheid kan worden bepaald dat de losse vondsten op het thermenterrein ook daadwerkelijk onderdeel hebben uitgemaakt van het badhuis.

2) Ex-situ materiaal van het thermenterrein

Het ex-situ materiaal (ca. 600 stuks) dat niet tot de museumcollectie is niet onderzocht conform de onderzoeksmethodiek van EARTH, de eerste onderzoeksstap 'het beschrijven van de aanwezige vormen' is niet uitgevoerd. Dit materiaal is primair gebruikt om tot een bakselindeling te komen en voor het bemonsteren van baksels. Dit aangezien het ex situ materiaal uit het badgebouw geen museale waarde heeft en niet in situ beschermd is. Zodoende leende dit materiaal zich het beste voor intensief en invasief bakselonderzoek. Dit bakselonderzoek is de eerste fase van het onderzoek geweest waarvan uit alle overige analyses zijn uitgevoerd. Beperking van dit materiaal is dat de vormen van de bemonsterde stukken niet kon worden onderzocht. Tevens kunnen de stukken niet aan een context worden toegewezen.

3) Opgravingsmateriaal uit de opgravingen 2017/2018

In 2017 en 2018 zijn aanvullende opgravingen uitgevoerd op het thermenterrein om te trachten onderzoeksvragen te beantwoorden. Hierbij is behalve metaal en aardewerk ook een grote hoeveelheid fragmenten keramisch bouw materiaal aangetroffen. De context van deze vondsten is zorgvuldig gedocumenteerd. Het materiaal is uitgezeefd waardoor er geen selectie in het veld heeft plaatsgevonden en het materiaal een representatief beeld geeft van de contexten rondom de fundering van het badhuis. Daarnaast kan dit materiaal mogelijk helpen bij de fasering en datering van de verschillende soorten gebruikt keramisch bouw materiaal op de site. Er is voor gekozen om een selectie van het materiaal (958) stuks die afkomstig zijn uit gesloten contexten te bekijken op quickscan niveau. Daarmee is het materiaal niet onderzocht conform de onderzoeksmethodiek van EARTH aangezien de beschrijving van de aanwezige vormen is vereenvoudigd. Dit onderzoek geeft vooral inzicht in de aanwezige baksels in vondstcontexten uit de opgravingen.

4) In-situ materiaal

Tot slot is gekeken naar het in-situ materiaal (in totaal ca. 5000 stuks bekeken, totale aantal in het badhuis wordt geschat op ca. 12.000 stuks). Gezien de hoeveelheid van het aanwezige bouw materiaal kon het onderzoek niet worden uitgevoerd conform de onderzoeksmethodiek van EARTH. In eerste

instantie is een QuickScan uitgevoerd om te bepalen op welke locaties zich keramisch bouw materiaal bevindt. Vervolgens is getracht om van alle in situ onderdelen te bepalen of deze onderscheidend zijn van elkaar op basis van zichtbare vormen, baksels en opbouw. Op basis van deze QuickScan is bepaald welke onderdelen en op welke locaties gedocumenteerd dienen te worden om inzicht te krijgen in de opbouw van het badhuis en de aanwezigheid van keramisch bouw materiaal in de verschillende ruimtes.

Aan de hand van de bakselindeling op basis van het ex-situ materiaal, is een eerste inventarisatie uitgevoerd op het in-situ materiaal. Direct duidelijk was dat dit een uitdaging zou zijn. Het in situ materiaal mocht niet of zo min mogelijk worden bemonsterd. Bij een eerste inventarisatie bleek direct dat de meerderheid van het te bestuderen materiaal in situ geen breukvlak heeft. Tevens bleek dat een deel van de baksels niet of nauwelijks met het blote oog van elkaar te onderscheiden is zonder breukvlakken. Zo zijn binnen een bakselgroep de verschillen tussen de individuele baksels (bijvoorbeeld het verschil tussen baksel A4, baksel A5 en baksel A6) enkel te zien op een breukvlak of na zagen. Daarom is een studie gedaan welke kenmerken de verschillende baksels hebben die op het oog te herkennen zijn, zonder breukvlak of geslepen monster. Hieruit bleek dat na schoonmaak de verschillende bakselgroepen goed van elkaar te scheiden waren. Tevens bleek het verschil tussen baksel B1 en B2 vaak direct zichtbaar. Daarop is besloten om een vergelijkingsset te maken op bakselgroep niveau waarmee de in-situ analyses zijn uitgevoerd.

Vanwege de beschikbare middelen is er voor gekozen om de muren niet volledig te documenteren maar te sampelen door meerdere profielkolommen te documenteren van één meter breedte. Daarbij is op basis van de QuickScan een selectie van 15 kolommen onderzocht. Deze kolommen zijn verdeeld over alle ruimtes. Hierbij zijn per kolom per rij van links naar rechts en vervolgens van onder naar boven alle vormen en baksels gedocumenteerd. De kolommen zijn gefotografeerd en vervolgens is de inventarisatie in Excel vastgelegd. Afbeeldingen hiervan zijn opgenomen in Bijlage 1.

Voor de vloeren is gekozen om te bekijken welke verschillende vormen en baksels aanwezig zijn. Doel hiervan is onder ander om te kijken of het om initiële vloeren (complete vloeren), verbouwingen of reparaties gaat. Gezien de grote aantallen zijn de gebruikte stukken in de vloeren niet gekwantificeerd.

Voor de hypocaust systemen (de *pilae* van *bessales*) is, gezien de goede beschikbaarheid gekozen deze in zijn geheel te documenteren en te kwantificeren. De hypocausttegels of *bessales* die in de verschillende ruimtes aanwezig waren zijn tijdens de restauratiewerkzaamheden verwijderd om de vloeren te kunnen impregneren. Bij deze verwijdering zijn alle aanwezige pilaartjes eerst opgetekend en hebben elk een individueel nummer gekregen. Deze pilaartjes zijn vervolgens verwijderd waarbij elke tegel een nummering heeft gekregen. Bij de verwijdering is gekeken welke tegels zich nog met zekerheid *in situ* bevonden op basis van de aanwezigheid van mortel. De tegels zijn per ruimte bekeken op vorm en baksel en in een Excel bestand vastgelegd.

Doordat de meerderheid van het *in situ* materiaal ingemetseld is konden niet alle vormeigenschappen worden gedocumenteerd. Zo konden de vormen en maten van *tegulae* niet worden bepaald en konden ook de diktes van de meeste vloertegels niet worden vastgesteld.



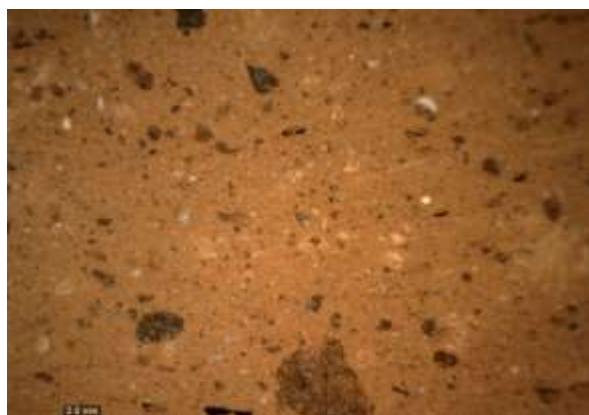
Figuur 2 Timo Vanderhoeven en Eva Kars beschrijven de muren van het badhuis.

3.1 *Inleiding*

Hoewel bij het onderzoek naar het bouwmateriaal uit het badgebouw in Heerlen getracht is om de baksels van al het materiaal te bestuderen, leenden niet alle datasets zich hiervoor. Het in-situ materiaal kon grotendeels niet worden bemonsterd aangezien het onderdeel uitmaakt van het archeologisch monument en bemonstering schade zou toebrengen aan het monument. De museumcollectie diende zo min mogelijk te worden bemonsterd, aangezien deze stukken van museale waarde zijn. Het ex-situ materiaal is primair gebruikt om tot een bakselindeling te komen. Dit aangezien het ex-situ materiaal uit het badgebouw geen museale waarde heeft en niet in-situ beschermd is. Zodoende leende dit materiaal zich het beste voor intensief en destructief bakselonderzoek.

3.2 *Bakselgroepen*

Op macroscopisch niveau konden 25 verschillende baksels worden onderscheiden. Deze baksels konden vanwege hun onderlinge homogeniteit worden herleid tot acht hoofdbakselgroepen A t/m H, waarbinnen kleine variaties van inclusies voorkomen (de 25 baksels). De baksels zijn uitgebreid bemonsterd waarbij circa 150 stukken zijn onderworpen aan analyse en XRF-onderzoek. In onderstaande afbeeldingen zijn de verschillende bakselgroepen weergegeven met een vergroting van 10 maal, op macroscopisch niveau, waaruit duidelijk de herkenbaarheid van de bakselgroepen met het blote oog blijkt.



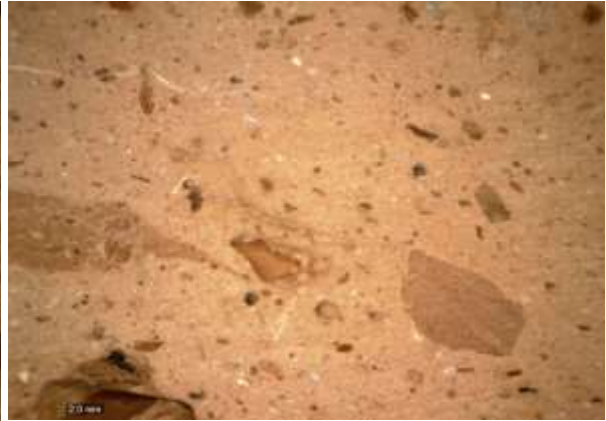
Figuur 3 Bakselgroep A



Bakselgroep B



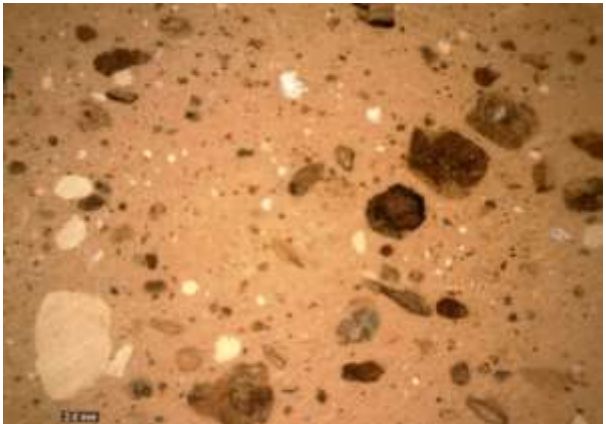
Figuur 4 Bakselgroep C



Bakselgroep D



Figuur 5 Bakselgroep E



Bakselgroep F



Figuur 6 Bakselgroep G



Bakselgroep H

Bakselgroep HETH A

Bakselgroep HETH A bestaat uit zes baksels, aangezien de grootte en concentratie van de magering iets van elkaar kan verschillen. De bakselgroep HETH A is direct herkenbaar door de aanwezigheid van de typerende opaak zwarte hoekige inclusies. De bakselgroep is sterk vertegenwoordigd in de museumcollectie en ook in het ex situ materiaal. In dit baksel komen alle vormen voor, met

uitzondering van de *spicatum lateres*, *parientales* en *tubi*. De producten zijn alle netjes afgewerkt en het baksel is tamelijk hard, hetgeen duidt op een hoge baktemperatuur.

Op baksel A1 en A5 komen stempels voor van de pannenbakkerij CTEC. Eenzelfde baksel als HETH A1 is het baksel HEVA 1 dat is aangetroffen bij onderzoek naar een Romeinse woning aan de Valkenburgseweg in Heerlen¹⁸. Ook op deze vindplaats werden meerdere fragmenten in dit baksel aangetroffen met stempels van de pannenbakkerij CTEC. Op baksel A4 komt een stempel voor van de pannenbakkerij MHF en op baksel A6 komen meerdere stempels voor van het LXXVV. Dit baksel komt niet overeen met andere limes bakfels uit de referentiecollectie van EARTH.

De dominante insluitsels in het baksel zijn afgerond hoekige, zwarte insluitsels. De hoeveelheden van de verschillende insluitsels en hun grootte en sortering zijn weergegeven in onderstaande tabel. De kleur van het baksel is yellowish red 5 YR 5/8 / yellowish red 5YR 6/8 tot light red 2.5 YR. De fragmenten in deze groep hebben middelgrote, langgerekte poriën. De porositeit bedraagt 0,5–5%. De matrix van de fragmenten is fijnkorrelig.

De hardheid van de bakselgroep is 2,5 tot 3,5 op de schaal van Mohs¹⁹.

Bakfel A1 is het meest voorkomende subbakfel binnen deze bakfelgroep. Bakfel A2 verschilt van A1 doordat de kenmerkende opaak zwarte insluitsels groter zijn, tevens zijn opaak rode insluitsels aanwezig. Bakfel A3 vertoont weinig verschil met bakfel A1 maar is duidelijk harder gebakken. Bakfel A4 onderscheidt zich door een fijnere magering. In tegenstelling tot bakfel A1 is bij bakfel A4 geen magering aan het oppervlak zichtbaar. Bakfel A5 bevat meer slecht gesorteerde opaak witte inclusies dan bakfel A1. Bakfel A6 onderscheidt zich van bakfel A1 doordat er geen magering aan het oppervlak zichtbaar is, daarnaast bevat het bakfel opvallend grote poriën en zowel opaak witte als opaak witgelige inclusies.

Bakfelgroep	Kleur inclusie	Transparantie	Korrelgrootte	Percentage	Sortering	Vorm
A	Zwart	Opaak	1–6 mm	5%	Zeer slecht	Hoekig
	Wit	Doorschijnend	0,3–1 mm	<5%	Goed	Hoekig
	Wit	Opaak	0,5 mm	<5%	Zeer slecht	Hoekig
	Rood	Opaak	1–3 mm	10%	Redelijk	Afgerond hoekig
	Poriën		2–7 mm	0,5%		Langwerpig

Tabel 1 Inclusies in bakfelgroep A.

Bakfelgroep HETH B

Bakfelgroep HETH B bestaat uit vier bakfels, aangezien de grootte en concentratie van de magering iets van elkaar kan verschillen. De bakfelgroep HETH B is direct herkenbaar door het bleke gele tot rozige bakfel met wit opake en rood opake chamotte. De bakfelgroep is sterk vertegenwoordigd in de museumcollectie en ook in het ex situ materiaal. In dit bakfel komen alle vormen voor, met uitzondering van de *spicatum lateres*, *parientales* en *tubuli cunati*. De producten zijn alle slordig

¹⁸ Vanderhoeven & Kars 2012.

¹⁹ Orton, Tylers & Vince 1993.

afgewerkt. Op meerdere fragmenten komen resten voor van een rode deklaag die op het bleke baksel is aangebracht. Binnen de bakselgroep komen geen gestempelde fragmenten voor. Het baksel komt goed overeen met baksel Kere 1 dat gebruikt is voor de bouw van de Romeinse villa te Kerkrade Holzkui²⁰.

De meest herkenbare insluitsels in het baksel zijn de opaak witte en de kleine opaak rode insluitsels. De hoeveelheden van de verschillende insluitsels en hun grootte en sortering zijn weergegeven in onderstaande tabel. De kleur van het baksel is pink 5 YR 7/4 tot pink 5 YR 8/4. De fragmenten in deze groep hebben kleine, ronde poriën. De porositeit bedraagt 5%. De matrix van de fragmenten is fijnkorrelig.

De hardheid van de bakselgroep is 3,5 tot 4,5 op de schaal van Mohs²¹.

Bakselgroep	Kleur inclusie	Transparantie	Korrelgrootte	Percentage	Sortering	Vorm
B	Wit	Doorschijnend	0,1–0,3 mm	20%	Zeer goed	Hoekig
	Rood	Opaak	0,1–5 mm	5–10%	Redelijk	Afgerond
	Wit	Opaak	0,1–10 mm	5%	Zeer slecht	Afgerond
	Poriën		0,1–0,5	5%	Slecht	Rond

Tabel 2 Inklusies in bakselgroep B.

Bakselgroep HETH C

Bakselgroep HETH C bestaat uit drie baksels, aangezien de grootte en concentratie van de magering iets van elkaar kan verschillen. De bakselgroep HETH C is direct herkenbaar door de magering met grote inclusies zoals grind, kwarts en ongesorteerde chamotte. De bakselgroep is slecht vertegenwoordigd zowel in de museumcollectie, ex-situ als in-situ. In dit baksel komen de volgende vormen voor: *tegulae*, *imbrices*, vierkante en ronde *bessales*, *lateres* (*lydia* of *pedales*), *bipedales* en *spicatum lateres*. Binnen de bakselgroep komen geen gestempelde fragmenten voor. Er is nog geen overeenkomst met reeds bekende baksels uit de EARTH-referentiecollectie.

De meest herkenbare insluitsels in het baksel zijn de wit doorschijnende en grijs/bruine (mogelijk grind) inclusies. De hoeveelheden van de verschillende insluitsels en hun grootte en sortering zijn weergegeven in onderstaande tabel. De kleur van het baksel is licht red 2.5 YR6/6 tot red 2.5 YR 5/6. De fragmenten in deze groep hebben relatief grote, ronde poriën. De porositeit bedraagt 5%. De matrix van de fragmenten is grofkorrelig.

De hardheid van de bakselgroep is 4 op de schaal van Mohs²².

²⁰ Kars 2005.

²¹ Orton, Tylers & Vince 1993.

²² Orton, Tylers & Vince 1993.

Bakselgroep	Kleur inclusie	Transparantie	Korrelgrootte	Percentage	Sortering	Vorm
C	Wit	Doorschijnend	0,1–0,5 mm	5%	Zeer slecht	Afgerond
	Rood	Opaak/Doorschijnend	0,2–0,8 mm	5%	Zeer slecht	Afgerond
	Grijs/bruin	Opaak	0,2–0,8 mm	5%	Zeer slecht	Afgerond
	Poriën		2–5 mm	5%	Zeer slecht	Goed rond

Tabel 3 Inklusies in bakselgroep C.

Bakselgroep HETH D

Bakselgroep HETH D bestaat uit twee baksels, aangezien de grootte en concentratie van de magering iets van elkaar kan verschillen. De bakselgroep HETH D is direct herkenbaar door de opvallend hoekige chamottebrokken die in het rozerode matrix zitten. De bakselgroep is sterk vertegenwoordigd in de museumcollectie, het ex situ en in situ materiaal. In dit baksel komen de volgende vormen voor: *tegulae*, *imbrices*, vierkante en ronde *bessales*, *lateres* (*lydia* of *pedales*), *lydia*, *bipedales*, *spicatum lateres*, *parientales* en *tubuli*. Binnen de bakselgroep komen geen gestempelde fragmenten voor. Er is nog geen overeenkomst met reeds bekende baksels uit de EARTH-referentiecollectie.

De meest herkenbare insluitels in het baksel zijn de hoekige opaak rode insluitels. De hoeveelheden van de verschillende insluitels en hun grootte en sortering zijn weergegeven in onderstaande tabel. De kleur van het baksel is light red 2.5 YR 6/8 tot reddish brown 5 YR 7/6. De matrix van de fragmenten is fijnkorrelig.

De hardheid van de bakselgroep is 3,5 op de schaal van Mohs²³.

Bakselgroep	Kleur inclusie	transparantie	Korrelgrootte	Percentage	Sortering	Vorm
D	Wit	Opaak	2–12 mm	> 5%	Zeer slecht	Afgerond hoekig
	Oranjerood	Opaak	1–5 mm	5%	Zeer slecht	Afgerond hoekig
	Rood	Opaak	2–5 mm	5%	Zeer slecht	Afgerond hoekig

Tabel 4 Inklusies in bakselgroep D.

Bakselgroep HETH E

Bakselgroep HETH E bestaat uit twee baksels, aangezien de grootte en concentratie van de magering iets van elkaar kan verschillen. De bakselgroep HETH E is direct herkenbaar door de fijne magering met onregelmatig gevormde opaak witte insluitels. De bakselgroep is redelijk vertegenwoordigd in de museumcollectie, maar slechts gering aanwezig in de ex-situ verzameling en in-situ. In dit baksel

²³ Orton, Tylers & Vince 1993.

komen de volgende vormen voor: *tegulae*, *imbrices*, vierkante *bessales* en *lateres* (*lydia* of *pedales*). Binnen de bakselgroep komen geen gestempelde fragmenten voor. Er is nog geen overeenkomst met reeds bekende baksels uit de EARTH-referentiecollectie.

De meest herkenbare insluitsels in het baksel zijn de opaak witte chamotte inclusies. De hoeveelheden van de verschillende insluitsels en hun grootte en sortering zijn weergegeven in onderstaande tabel. De kleur van het baksel is reddish yellow light red 5 YR 7/6. De fragmenten in deze groep hebben onregelmatig gevormde poriën. De porositeit bedraagt 3%. De matrix van de fragmenten fijnkorrelig. De hardheid van de bakselgroep is 3 op de schaal van Mohs²⁴.

Bakselgroep	Kleur inclusie	Transparantie	Korrelgrootte	Percentage	Sortering	Vorm
E	Wit	Opaak	1-7 mm	10%	Slecht	Afgerond hoekig
	Rood	Opaak	1-4 mm	1%	Zeer slecht	Rond tot hoekig
	Poriën		2-12 mm	3%	Zeer slecht	Onregelmatig gevormd

Tabel 5 Inclusies in bakselgroep E.

Bakselgroep HETH F

Bakselgroep HETH F bestaat uit een baksel. De bakselgroep HETH F is direct herkenbaar door de magering met ronde donkerrode opaak en afgerond hoekige wit opake inclusies. De bakselgroep is slecht vertegenwoordigd zowel in de museumcollectie, ex-situ als in-situ. In dit baksel komen de volgende vormen voor: *tegulae* en *lateres* (*lydia* of *pedales*). Binnen de bakselgroep komen geen gestempelde fragmenten voor. Er is nog geen overeenkomst met reeds bekende baksels uit de EARTH-referentiecollectie.

De meest herkenbare insluitsels in het baksel zijn de opaak witte en rode chamotte inclusies. De hoeveelheden van de verschillende insluitsels en hun grootte en sortering zijn weergegeven in onderstaande tabel. De kleur van het baksel is reddish yellow 5YR 7/8. De fragmenten in deze groep hebben relatief grote, langwerpige poriën. De porositeit bedraagt <0,5%. De matrix van de fragmenten fijnkorrelig.

De hardheid van de bakselgroep is 4 op de schaal van Mohs²⁵.

Bakselgroep	Kleur inclusie	Transparantie	Korrelgrootte	Percentage	Sortering	Vorm
F	Wit	Opaak	2-12 mm	5%	Zeer slecht	Afgerond hoekig
	Rood	Opaak	0,3-0,6 mm	10%	Zeer slecht	Rond
	Zwart	Opaak	3 mm	<5 %	Redelijk	Hoekig

²⁴ Orton, Tylers & Vince 1993.

²⁵ Orton, Tylers & Vince 1993.

	Poriën		2–7 mm	<0,5%	Goed	Langwerpig
--	--------	--	--------	-------	------	------------

Tabel 6 Inklusies in bakselgroep F.

Bakselgroep HETH G

Bakselgroep HETH G bestaat uit twee baksels, aangezien de grootte en concentratie van de magering iets van elkaar kan verschillen. De bakselgroep HETH G is direct herkenbaar door de fijne matrix en zeer fijne magering met uitsluitend wit doorschijnende inclusies die niet met het blote oog kunnen worden waargenomen. De bakselgroep is slecht vertegenwoordigd in de museumcollectie en ex-situ, maar goed vertegenwoordigd in-situ (met name in de *spicatum* vloeren). In dit baksel komen de volgende vormen voor: *tegulae*, *imbrices*, vierkante en ronde *bessales*, *lateres* (*lydia* of *pedales*), *pedales*, *bipedales*, *spicatum lateres* en *tubuli cunati*. Binnen de bakselgroep komen geen gestempelde fragmenten voor. Er is nog geen overeenkomst met reeds bekende baksels uit de EARTH-referentiecollectie.

Het baksel heeft geen met het oog herkenbare insluitsels. De hoeveelheden van de verschillende insluitsels en hun grootte en sortering zijn weergegeven in onderstaande tabel. De kleur van het baksel is light reddish yellow 5 YR6/6. De fragmenten in deze groep hebben relatief veel langgerekte poriën. De porositeit bedraagt 10%. De matrix van de fragmenten fijnkorrelig. De hardheid van de bakselgroep is 2,5 op de schaal van Mohs²⁶.

Bakselgroep	Kleur inclusie	Transparantie	Korrelgrootte	Percentage	Sortering	Vorm
G	Wit	Opaak	0,5–1 mm	30%	Zeer goed	Afgerond hoekig
	Poriën		1–4 mm	10%	Redelijk	Langwerpig

Tabel 7 Inklusies in baksels van bakselgroep G.

Bakselgroep HETH H

Bakselgroep HETH H bestaat uit een baksel. Bakselgroep HETH H is direct herkenbaar door de witbeige opake langwerpige magering en de fijne matrix met grote poriën. De bakselgroep is slecht vertegenwoordigd in de museumcollectie, ex-situ en in situ. In deze bakselgroep zijn alleen lateres (*lydia* of *pedales*) aangetroffen. Binnen de bakselgroep komen geen gestempelde fragmenten voor. Er is nog geen overeenkomst met reeds bekende baksels uit de EARTH-referentiecollectie.

De hoeveelheden van de verschillende insluitsels en hun grootte en sortering zijn weergegeven in onderstaande tabel. De kleur van het baksel is light red 2.5 YR6/8. De fragmenten in deze groep hebben relatief veel langgerekte poriën. De porositeit bedraagt 5%. De matrix van de fragmenten is fijn.

De hardheid van de bakselgroep is 4,5 op de schaal van Mohs²⁷.

Bakselgroep	Baksel	Kleur	Transparantie	Korrelgrootte	Percentage	Sortering	Vorm
-------------	--------	-------	---------------	---------------	------------	-----------	------

²⁶ Orton, Tylers & Vince 1993.

²⁷ Orton, Tylers & Vince 1993.

		inclusie					
H	H1	Witbeige	Opaak	1-6 mm	10%	Slecht	Hoekig
		Poriën		2-7 mm	5%	Zeer slecht	Hoekig

Tabel 8 Inclusies in baksels van bakselgroep H.

Baksel	Hardheid (schaal van Mohs)					
	2	2,5	3	3,5	4	4,5
A		x	x	x		
B				x	x	x
C					x	
D				x		
E			x			
F					x	
G		x				
H						x

Tabel 9 Hardheid op de schaal van Mohs van de verschillende bakselgroepen.

3.3 Baksels per dataset

Het onderzoek te Heerlen heeft gebruik gemaakt van vier verschillende datasets. Voor de museumcollectie van het thermenterrein en het materiaal uit de opgravingen 2017-2018 zijn de aanwezige baksels en de daarin vertegenwoordigde vormen gekwantificeerd. Voor het ex-situ materiaal zijn enkel de aanwezige baksels en het al dan niet voorkomen van bepaalde vormen in die baksels gedocumenteerd, maar niet gekwantificeerd. Van het in-situ materiaal zijn representatieve onderdelen gesampled en onderzocht. Voor een aantal onderdelen geldt dat deze zijn gekwantificeerd, dit geldt echter niet voor alle. Voor zover de voorkomende vormen per baksel zijn gekwantificeerd, zijn deze data opgenomen in hoofdstuk 6. In onderstaande tabel is enkel aangegeven in welke dataset welke baksels aanwezig zijn.

Baksel	Dataset			
	Museumcollectie van het thermenterrein	Ex-situ materiaal van het thermenterrein	Opgravingsmateriaal 2017/2018	In-situ materiaal
A	X	X	X	X
B	X	X	X	X
C	X	X	X	X
D	X	X	X	X
E	X	X	X	-
F	-	X	X	-
G	X	X	X	X
H	-	X	-	-
I	X	-	-	-

Tabel 10 Vertegenwoordigde baksels per dataset (- = afwezig; x = aanwezig).

De bakselgroepen die voorkomen in het in-situ materiaal komen ook voor in de drie andere datasets. Wat opvalt is dat onder het ex-situ materiaal nog twee andere baksels voorkomen, baksel F en H, die niet vertegenwoordigd zijn in de in-situ resten. Ook in de museumcollectie komt nog één fragment voor van een *later* in een afwijkend baksel, dat als bakselgroep I is benoemd.²⁸ Daarnaast zijn in het ex-situ materiaal subbaksels waargenomen die bij het in-situ materiaal niet zijn waar te nemen. Mogelijk zijn deze afwijkende baksels afkomstig van bovengrondse constructies waarvan het bouwmetaal door andere producenten is geleverd. Het is echter ook mogelijk dat het om 'los' metaal gaat dat geen relatie heeft tot het badgebouw.

Daarnaast komen de bakselgroepen in verschillende verhoudingen voor binnen de verschillende datasets. Hoewel de datasets niet kwantitatief te vergelijken zijn, valt wel op dat bakselgroep A het sterkst vertegenwoordigd is onder het ex-situ metaal en de museumcollectie, maar nauwelijks in-situ. Bakselgroep B domineert alle datasets, met uitzondering van de museumcollectie waar bakselgroep A overheerst. Bakselgroep D is eveneens in alle datasets sterk vertegenwoordigd.

Bij het bezien van de verschillen in verhoudingen is het van belang om te beseffen dat het in-situ metaal grotendeels bestaat uit metaal dat oorspronkelijk onder de grond zit (in de funderingen) en niet in het opgaand muurwerk, dak etc. Ook een groot deel van de bovengrondse vloeren ontbreekt in-situ.

3.4 Vergelijking met baksels van andere sites

Het onderzoek naar de herkomst van baksels en producties van EARTH stoelt op de gedachte dat een productie gedefinieerd wordt door het baksel waarin een product is vervaardigd (een doelbewuste samenstelling van grondstof(fen) en magering) en de vorm en afwerking van het product (productiewijze). Door systematisch bij elk onderzoek de combinatie van baksels en vormen te onderzoeken en te definiëren is inmiddels een grote referentiedatabase van verschillende producties vastgelegd. Daar waar producties op basis van gestempelde exemplaren aan een producent kon worden verbonden is dit gedaan, voor een groot aantal producties geldt echter dat deze nog niet aan een producent kunnen worden toegeschreven.

Behalve de reeds gedocumenteerde stukken die onderdeel uitmaken van de referentiedatabase van EARTH, zijn voor dit onderzoek nieuwe stukken bemonsterd uit verschillende opgravingen in Maastricht, Tongeren (België), Aken en Xanten (Duitsland). Het gaat bij deze stukken grotendeels om gestempeld metaal uit grotere Romeinse nederzettingen in de omgeving van Heerlen. Kritische noot bij dit onderzoek is dat hierbij niet zoals gewoonlijk op systematische wijze is gekeken naar al het metaal dat op deze opgravingen voorkomt om aanwezige producties vast te stellen, maar dat alleen enkele significante stukken zijn bekeken. Alle onderzochte stukken zijn ingedeeld naar baksel en benoemd naar de vindplaats (dus bijv. baksel Xanten 1, Xanten 2 etc.).

²⁸ Verwaarloosbaar aangezien het slechts één object betreft, slechts 0,1 % van de museumcollectie.

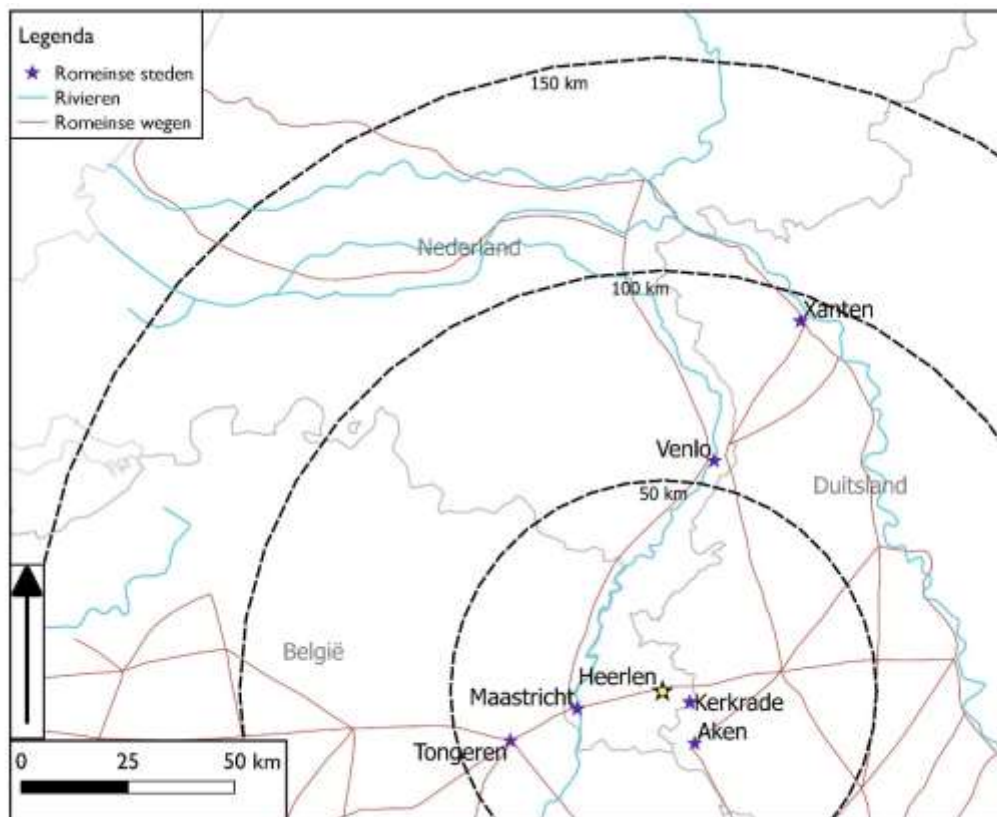
In onderstaande tabel is weergegeven welke stukken zijn bekeken, als welk baksel deze zijn gedefinieerd en hoe dit correspondeert met de in het badhuis aangetroffen baksel. Tevens is aangegeven of en zo ja welke stempels op deze stukken voorkomen. Deze monsters zijn tevens aan XRF-onderzoek onderworpen en zullen in het volgende hoofdstuk nader worden besproken. De fragmenten waarbij geen bakselgroep is aangeduid, komen als baksel niet in de thermen in Heerlen voor. Vooralsnog zijn enkel parallellen aangetroffen voor bakselgroep A en bakselgroep B. Daarbij valt op dat bakselgroep A voorkomt met verschillende stempels en bekend is uit meerdere vindplaatsen in Heerlen, Maastricht, Tongeren en Aken. Bakselgroep B is bekend uit de villa Kerkrade Holzkuil en uit Aken.

Uit onderstaande overzicht valt te concluderen dat de producten met het stempel van het 30^{ste} legioen uit verschillende kleibronnen zijn geproduceerd.

Vindplaats	Baksel	Stempel	Correspondeert met bakselgroep
Aken	Aken A	L.XXXVV	Heerlen A
Heerlen (Valkenburgseweg)	HEVA 1	CTEC	Heerlen A
Heerlen (Dr. Poelstraat)		CTEC	Heerlen A
Tongeren (TO-VE)	Tongeren A	CTEC (klein zonder kader)	Heerlen A
Tongeren (TO-VE)	.Tongeren A	HAMSIT	Heerlen A
Tongeren (TO-VE)	Tongeren A	MHF	Heerlen A
Maastricht (1959)	Maastricht A	AAF	Heerlen A
Maastricht (Stokstraat)	Maastricht A	MHF	Heerlen A
Maastricht (Stokstraat)	Maastricht A	-	Heerlen A
Maastricht	Maastricht A	CTEC	Heerlen A
Kerkrade (Holzkuil)	Kere 1	-	Heerlen B
Kerkrade (Holzkuil)	Kere 3	-	-
Heerlen (Valkenburgseweg)		-	-
Maastricht		CGPF	-
Heerlen (Dr. Poelstraat)		-	-
Venlo		LEGXXXVV	-
Xanten	Xanten 1	LEGXXIIPRI LEGXXIIPRPF	-
Xanten	Xanten 2	LEGVIPF LEGXXXVV	-
Xanten	Xanten 3	LEGXXXVV	-
Xanten	Xanten 4	LEGXXIIPR	-
Aken	Aken 1	-	Heerlen B
Aken	Aken 2	-	Heerlen D
Aken	Aken 3	LIMPF TRANSRHENANA	-

		VESEXGER	
Aken	Aken 4	LEGXVI	
Aken	Aken 5	L.XXXVV	Heerlen A?

Tabel 11 Vergelijking baksels andere sites.



Figuur 7 Heerlen en de locaties waar in het kader van dit onderzoek monsters van keramisch bouw materiaal middels XRF onderzoek zijn vergeleken; in blauw de rivieren, in rood het Romeins wegennetwerk.

4.1 Inleiding

In het macroscopische onderzoek zijn een veelheid aan subbaksels onderscheiden. Deze zijn samengevoegd in acht bakselgroepen benoemd Baksel HETH A, HETH B tot en met baksel HETH H.

De subbaksels betreffen variaties van het hoofdbaksel, bijv. variatie in hoeveelheid magering of variatie in grootte van de betreffende magering. De indeling van alle baksels (subbaksels en hoofdbaksels) is getoetst in het XRF-onderzoek. Hierdoor is duidelijk geworden of de subbaksels op zichzelf staande producties zijn of geringe variaties betreffen die kunnen worden ingedeeld in grotere hoofdbaksels. En of de hoofdbaksels echt een zelfstandige bakselgroep betreffen.

In totaal zijn ruim 150 monsters aan XRF-onderzoek onderworpen. De resultaten van het XRF-onderzoek bevestigen dat de subbaksels kunnen worden ingedeeld in de door ons gedefinieerde 8 hoofdbaksels. Tevens bevestigen de resultaten van het XRF-onderzoek dat de bakselgroepen duidelijk van elkaar te onderscheiden zijn, dus niet alleen macroscopisch, maar ook chemisch. Toch blijken een aantal bakselgroepen die op het oog niet direct aan elkaar gelinkt worden chemisch gezien redelijk dicht bij elkaar te liggen.

Bakselgroep	Ex-situ materiaal	Museumcollectie	In situ
A	Tegulae, imbrices	Tegulae, tubuli, bessalis	Lydion
B	Tegulae, imbrices, lateres (o.a. bipedalis)	Lateres, tubulus	–
C	Tegulae, later	Spicatum steentje, bipedalis	Bessalis
D	Tegulae, imbrices, lateres	Tegula, tubuli	Bipedales
E	Tegulae, imbrices, later	Tegulae	–
F	Tegulae, lateres	–	–
G	Lateres	Spicatum steentjes, tubulus	Spicatum steentjes
H	lateres	–	–
I	–	Later	–
INDET	–	Imbrex, tubulus	–

Tabel 12 Monsternamen bakselgroepen en vormen XRF-analyse.

4.2 Resultaten XRF-analyses en clusteranalyse

In Bijlage 5 zijn de gedetailleerde uitkomsten van het XRF onderzoek en de clusteranalyse opgenomen.

Bakselgroep A, bevat de meest geanalyseerde baksels en heeft de hoogste ijzer, zink (samen met bakselgroep H) en zirkoon gehalten. De Rb gehalten zijn echter relatief laag. De variatie binnen de subtypes is laag. Een grote variatie is er alleen voor Cao en in mindere mate voor Zn en Sr.

Bakselgroep B heeft de hoogste TiO_2 gehalten en samen met F de hoogste Nb gehalten. De gehalten van alle andere elementen CaO , K_2O , Fe_2O_3 , MnO , Zn , Sr en Rb zijn echter de laagste van alle bakfels. De variatie binnen de subtypes is laag hoewel het Rb gehalte nog wel wil fluctueren.

Bakselgroep C heeft de hoogste ijzergehaltenes en relatief lage CaO gehaltenes, vergelijkbaar met groep A alleen dan met minder CaO .

Bakselgroep D kent slechts twee subtypes. Deze groep heeft relatief hoge Rb en K_2O gehaltenes.

Groep E heeft zeer lage MnO gehaltenes. Subtype E2 heeft afwijkende CaO en Sr gehaltenes vergeleken met de ander subtypes. Ook de variatie in Rb is relatief groot. Van Bakselgroep E zijn slechts vier samples gemeten. Deze groep heeft de hoogste MnO gehaltenes en relatief hoger TiO_2 en Nb gehaltenes.

Groep G heeft ook slechts twee subtypes die alleen in CaO gehalte van elkaar afwijken. Deze groep heeft relatief lage TiO_2 en Zr gehaltenes maar ken een gemiddeld hoog Rb gehalte.

Groep H tenslotte bestaat slechts uit twee samples. Deze wijken af door zeer hoge CaO , Rb , K_2O en Zn gehaltenes maar de laagste TiO_2 en Zr gehaltenes.

Fuzzy c-means clustering is een methode om groepen te onderscheiden in kleine datasets en die minder dan klassieke cluster, factor of discriminant analyse last heeft van uitliggers, multimodaliteit of het niet normaal verdeeld zijn van variabelen of overlap tussen de verschillende clusters²⁹. De clustering is uitgevoerd om te bepalen of er groepen met een chemische karakterisering zijn te onderscheiden.

Fuzzy c-means en NLM zijn uitgevoerd met de volgende variabelen: Al_2O_3 , K_2O , CaO , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , Zn , Zr en Rb . De NLM-mappings van de verschillende clusters zijn weergegeven in Figuur 122. Het laatste figuur bevat de factoren F en H per cluster, goed te zien is dat voor een 8 clustermodel de H minimaal is en de F het hoogst.

De cluster centra staan samengevat in Tabel 43. Wat goed te zien is dat de elementen Sr , Rb , K_2O en Al_2O_3 een redelijk goede samenhang vertonen binnen de clusters. Cluster 1 kenmerkt zich door relatief hoge TiO_2 en Zr gehaltenes. Cluster 2 bevat de meeste CaO rijke samples en lijkt erg op cluster 4. Het enige onderscheid tussen deze clusters is het CaO en in mindere mate het MnO gehalte die lager zijn in cluster 4. Cluster 3 bevat dertien monsters en kenmerkt zich door relatief lage gehaltenes van alle componenten. Cluster 5 bevat het hoogste TiO_2 gehalte gecombineerd met een relatief laag Rb gehalte. Cluster 6 is weer minder onderscheidend en heeft een iets hoger dan gemiddeld Rb gehalte en bevat de meeste samples (27). Cluster 7 en 8 lijken net als cluster 2 en 4 erg op elkaar. Het verschil tussen cluster 7 en 8 is vooral het ijzergehalte dat in cluster 7 veel hoger is. Tenslotte hebben deze twee laatste clusters de hoogste Al_2O_3 , K_2O , Sr , en Rb gehaltenes.

²⁹ Vriend e.a. 1988.

4.3 Interpretatie

De bakselgroepen zijn geochemisch in de meeste gevallen goed van elkaar te onderscheiden. De variatie wordt vooral mineralogisch bepaald door:

- Variatie in hoeveelheid klei en zand (Rb, K₂O en in mindere mate ijzer)
- Variatie in zware mineralen (Zr, TiO₂)
- Variatie in ijzergehalte
- Variatie in CaO en MnO gehalte
- Variatie in Zn gehalte

De kleiafzettingen in Limburg zijn de Pliocene kleien van Reuver en Brunssum. Omdat deze kleien in warmere perioden zijn afgezet hebben ze een hoger gehalte aan kaolien en titaanmineralen (Huisman e.a. 2000).

Bakselgroep A (cluster 2 en 4) behelst zes subbaksels (A1 t/m A6) die geringe variaties in magering vertonen. De bakselgroep bevat wisselende hoeveelheden Fe₂O₃, CaO en MnO en bevat over het algemeen een hoger zinkgehalte dat afwijkt van het zinkgehalte van Holocene kleien. De sterk wisselende kalkgehaltenes met niveaus met hoge mangaangehaltenes komen voor in de afwisselende organische rijke en arme lagen van de klei van Reuver³⁰. Ook in de Reuver klei komen afwisselingen voor van pyriet en geoxideerde pyrietlagen die tot grote variatie in het ijzergehalte kunnen leiden. Omdat de Reuver klei voornamelijk is opgebouwd uit een verweerd achterland is ook het zirkoon gehalte hoger dan in sedimenten uit het Holoceen of uit het laagpakket van Tegelen. Het zinkgehalte kan samenhangen met het voorkomen van pyriet in klei. Zink kan diagenetisch worden aangerijkt door pyrietvorming³¹. Bij verwerking van zinkhoudende afzettingen zoals in Kelmis, kan zink in het toenmalige stroomgebied van Rijn of Maas zijn terechtgekomen en zijn ingebouwd in reducerende sedimentintervallen zoals gevonden in de Reuver kleien. Lokaal kunnen de zinkgehaltenes in deze kleien boven de 600 ppm uitstijgen³². In ieder geval is bakselgroep A geo-chemisch goed te onderscheiden. Het merendeel van de bakselgroep A samples uit Maastricht hebben een iets andere signatuur dan die uit Heerlen, iets wat ook uit de cluster analyse volgt. Waarschijnlijk hebben we te maken met dezelfde kleiherkomst maar met een andere (periode) winning.

Bakselgroep B (cluster 5) is een redelijk homogene bakselgroep en behelst drie subbaksels (B1 t/m B3) die geringe variaties in magering vertonen. Het onderscheid in baksels is met name het gevolg van de macroscopische studie waarbij de afwerking van de producten en de bakkleur sterk verschilt. De bakselgroep wordt gekarakteriseerd door relatief hoge titaangehaltenes. Het is daarom zeer goed mogelijk dat deze baksels Brunssummerklei, die dagzoomt op de Brunssummerheide als voornaamste grondstof hebben. Ook het lagere Rb gehalte duidt op een Brunssum of Reuver klei. De kleien hebben een lager illiet gehalte en een hoger kaolien gehalte waardoor de K₂O en Rb gehaltenes lager zijn bij hetzelfde kleigehalte.

³⁰ Huisman e.a. 2000.

³¹ Huerta-Diaz en Morse 1992

³² BTAB sectie; Huisman 1998 unpublished data.

Bakselgroepen C,D,F, G en H hebben vallen allemaal in de hoog Rb, laag Zr groep in de clusters 3, 6, 7 en 8. Het hoge Rb en K₂O gehalte geeft aan dat we te maken hebben met waarschijnlijk illiet en mica rijke kleien. Het meest waarschijnlijk zijn dit kleien uit het laagpakket van Tegelen uit de formatie van Waalre³³. De grote variatie in ijzer (sideriet lagen) en de afwezigheid van kalk (CaO) bevestigen dit beeld. Mogelijk hebben de verschillende baksels te maken met verschillende winningslocaties of een verschillend productieproces. Bakselgroep E tenslotte kan ook tot deze Tegelen bakselgroep behoren maar heeft een veel grotere variatie in chemische samenstelling dan de overige baksels. Sommige van de E baksels vallen geo-chemisch samen met de B bakselgroep en cluster 5. Het kan zijn dat deze bakselgroep bestaat uit tegelen klei die chamotte gemagerd is met materiaal van andere herkomst, bijvoorbeeld de Brunssummer klei.

4.4 Conclusies en interpretatie

De verschillende bakselgroepen zijn chemisch goed te onderscheiden en grofweg onder te verdelen in drie hoofdgroepen. De grondstof voor bakselgroep A is hoogstwaarschijnlijk uit het laagpakket van Reuver (Formatie van Waalre). Deze dagzoomt onder andere bij het Duitse Brachterwald. Gezien het relatief hoge zinkgehalte in de bakselgroep A, is het ook mogelijk dat de klei langs de Geul gewonnen is. Dit betekent dat de klei op regionaal niveau (straal 30 km), maar ook op lokaal niveau (straal 10 km) gewonnen kon worden. Opvallend is dat alle fragmenten met stempels uit zowel Maastricht als Heerlen waarschijnlijk met deze klei zijn gemaakt.

De klei voor bakselgroep B is waarschijnlijk afkomstig uit het laagpakket van Brunssum (Kiezeloöliet formatie). Erg typisch voor deze formatie zijn de hoge titaangehaltes en de relatief lage ijzergehaltes waardoor ze minder rood bakken dan de overig bakselgroepen. Tertiaire klei komt in Zuid-Limburg dagzomend voor bij een aantal beekjes in de regio, zoals bijvoorbeeld bij de Rode beek (Brunssum) en de Merkelbacherbeek. Vergelijkbare klei is gebruikt voor bouw materiaal uit de villa Kerkrade, mogelijk werd deze klei gewonnen op de Brunssummerheide³⁴. Deze locatie staat bekend als kleiwingebied voor keramiekproducten vanaf de Romeinse tijd tot heden³⁵. Dit betekent dat de klei op regionaal, mogelijk zelfs lokaal niveau gewonnen kon worden.

De derde groep betreft de overige bakselgroepen, C, D, F, G en H die vermoedelijk gemaakt zijn uit klei uit het laagpakket van Tegelen (Formatie van Waalre) met illiet en wisselende ijzer gehalten. Deze kleien zijn gevormd uit materiaal dat minder verweerd is geweest en minder zware mineralen bevat. Mogelijk is materiaal van een van de andere kleipakketten gebruikt om in chamotte vorm de producten van deze klei te mageren. De klei voor deze baksels kon op regionaal niveau worden gewonnen ten noorden van Heerlen.

Het is onwaarschijnlijk dat er jongere Holocene kleien uit afzettingen van de Rijn of Maas zijn gebruikt. Deze hebben meestal een lager kleigehalte (lager K₂O en Rb) en bevatten minder zware mineralen.

De resultaten van de clusteranalyse volgen redelijk goed de bakselgroep indeling. Opmerkelijk is dat al het geanalyseerde materiaal van regionale herkomst afkomstig kan zijn. Gezien de homogeniteit van

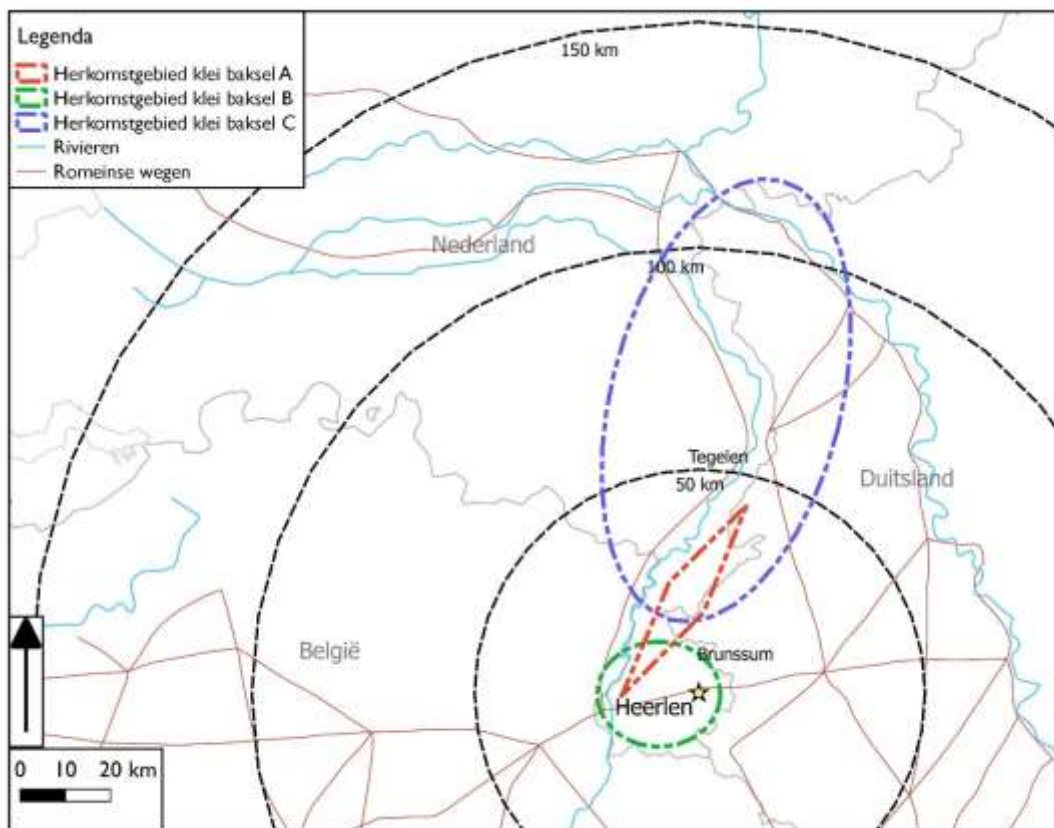
³³ Westerhoff en Weerts 2003.

³⁴ Kars 2005, 283.

³⁵ Brongers 1983, 378; Schins & Nelissen 1989, 297; Kars 2005, 283.

sommige baksels en subgroepen kan er sprake zijn geweest van enkele producenten of partijen. Waarschijnlijk werden de verschillende afnemers gezien het aantal verschillende stempels op dezelfde baksels, door deze enkele producenten bediend.

Voor dit onderzoek zijn de baksels uit Heerlen vergeleken met reeds beschikbare monsters uit de referentiecollectie van EARTH en met nieuwe speciaal hiervoor verzamelde monsters uit Tongeren, Maastricht, Aken en Xanten. Uit zowel de bakselanalyses als het XRF-onderzoek is gebleken dat in Tongeren en Maastricht materiaal voorkomt dat behoort tot de bakselgroep A uit Heerlen. Het gaat hierbij onder andere om gestempeld materiaal met stempels van CTEC en MHF. In Xanten is materiaal bemonsterd wat in Xanten is geproduceerd (o.a. door het 30^{ste} en het 22^{ste} legioen). Dit materiaal vertoont geen enkele gelijkenis met het materiaal uit Heerlen (en Maastricht) maar heeft duidelijk een andere origine. Bij de bestudering van monsters uit Aken is gebleken dat in Aken materiaal uit verschillende regio's is vertegenwoordigd. Zo komt in Aken materiaal voor uit Xanten, maar ook enkele baksels die ook in Heerlen voorkomen (baksel A en baksel B). Het XRF onderzoek toont dat het baksel A met de stempels L.XXXVV uit Heerlen en Aken duidelijk afwijkt van de gestempelde stukken met stempel LEGXXVV die o.a. in Xanten, Venlo, Nijmegen en verder langs de limes voorkomen.



Figuur 8 Heerlen en de herkomstgebieden waar de kleiwinning kan hebben plaatsgevonden; in blauw de rivieren, in rood het Romeins wegennetwerk.

5.1 Inleiding

De Romeinen produceerden verschillende typen bakstenen, voor verschillende constructies in een gebouw. Grofweg kan een onderscheid gemaakt worden tussen dakpannen, bakstenen en overig keramisch bouwmateriaal. Onder dakpannen vallen *tegulae* en *imbrices*, dat zijn resp. vlakke dakpannen met opstaande randen en pannen die een gewelfde vorm hebben. Bakstenen zijn alle platte vormen van keramisch bouwmateriaal, o.a. *bessales*, *pedales*, *bipedales* en *lydia*. Onder overig bouwmateriaal worden alle vormen geschaard die geen 'platte' vorm hebben. Hieronder vallen o.a. *tubuli* en *tegulae hamatae*. Hieronder zullen eerst de verschillende vormen worden besproken en vervolgens het voorkomen per dataset.

5.2 Dakpannen

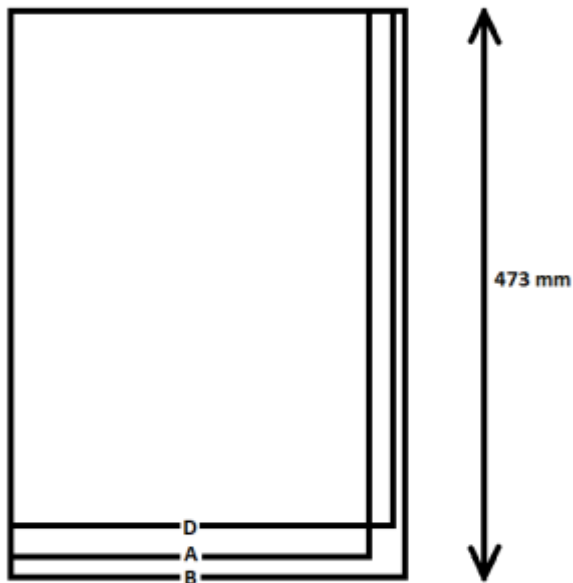
Tegulae

Een *tegula* is een daktegel met een opstaande rand, de flens, en met uitsnijdingen op de twee uiteinden (zie Figuur 11). De grootte van *tegulae* varieert; de grootste kunnen meer dan een halve meter lang zijn.³⁶ *Tegulae* zijn behalve als dakpan ook als vloer-, wand- en muurtegels gebruikt voor andere onderdelen in het gebouw.³⁷ De funderingen van het badhuis zijn een goed voorbeeld waarin *tegulae* gebruikt zijn om volledige muurconstructies op te bouwen. Maar ook meerdere goten die aan het badhuis zijn gerelateerd zijn opgebouwd uit *tegulae*.

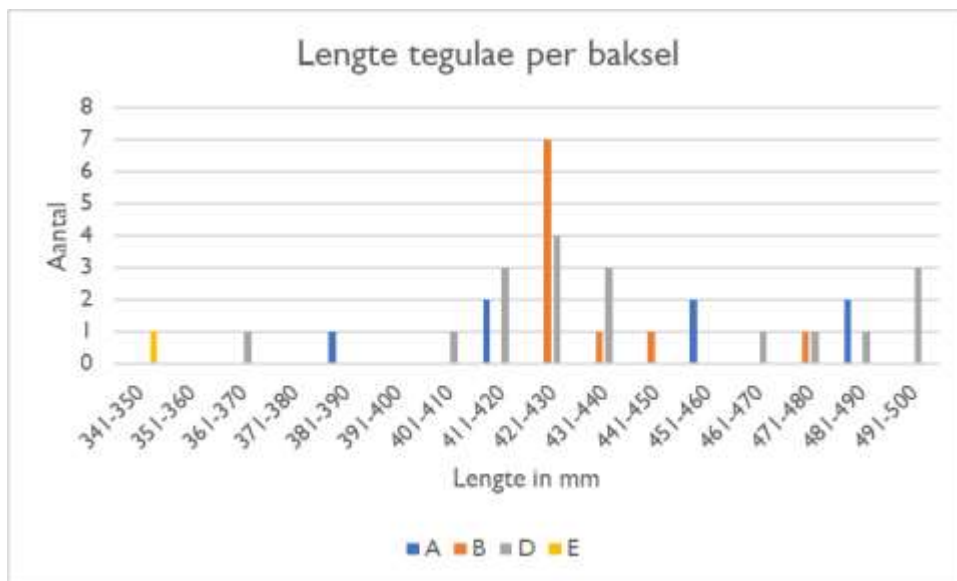
Alleen onder het in-situ materiaal zijn complete *tegulae* aangetroffen waarvan de oorspronkelijke afmetingen van de *tegulae* kunnen worden afgelezen. Op de goot langs de *natatio* ligt één complete *tegula* in baksel A die 456 x 300 mm meet, met een dikte van 21–25 mm; één complete *tegula* in baksel B die 473 x 330 mm meet, met een dikte van 24 mm; drie complete *tegulae* in baksel D die 430 x 320 mm meten, met een dikte van 28 mm. In de goot van de *natatio* zelf zitten ook twee complete *tegulae* in baksel B die 430 x 321 mm en 425 x 347 mm meten. Daarnaast zijn een groot aantal *tegulae* aangetroffen waarvan enkel de lengte kon worden vastgesteld. In Figuur 10 zijn de lengtes per baksel weergegeven. Op basis van deze data zijn geen duidelijke patronen zichtbaar.

³⁶ Lammers, 1994, 165; Brodribb, 1987, 12.

³⁷ Zo zijn te Kerkrade-Holzkuil *tegulae* aangetroffen waarbij beide flenzen waren weggehakt. Deze werden gebruikt in de wandconstructie van het koudwaterbad (Kars 2005, 260); Brodribb 1987, 21.



Figuur 9 Schematische maatvoering van de tegulae in verschillende baksels A, B en D.

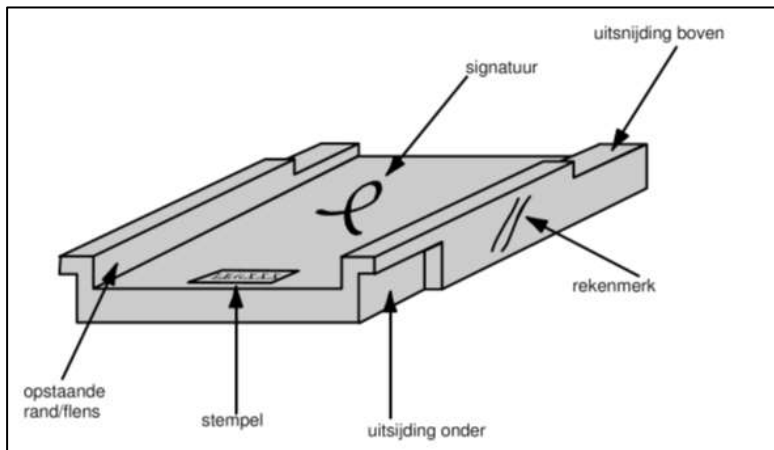


Figuur 10 Lengte van de tegulae in verschillende baksels A, B, D en E (uit de natatio en museumcollectie).

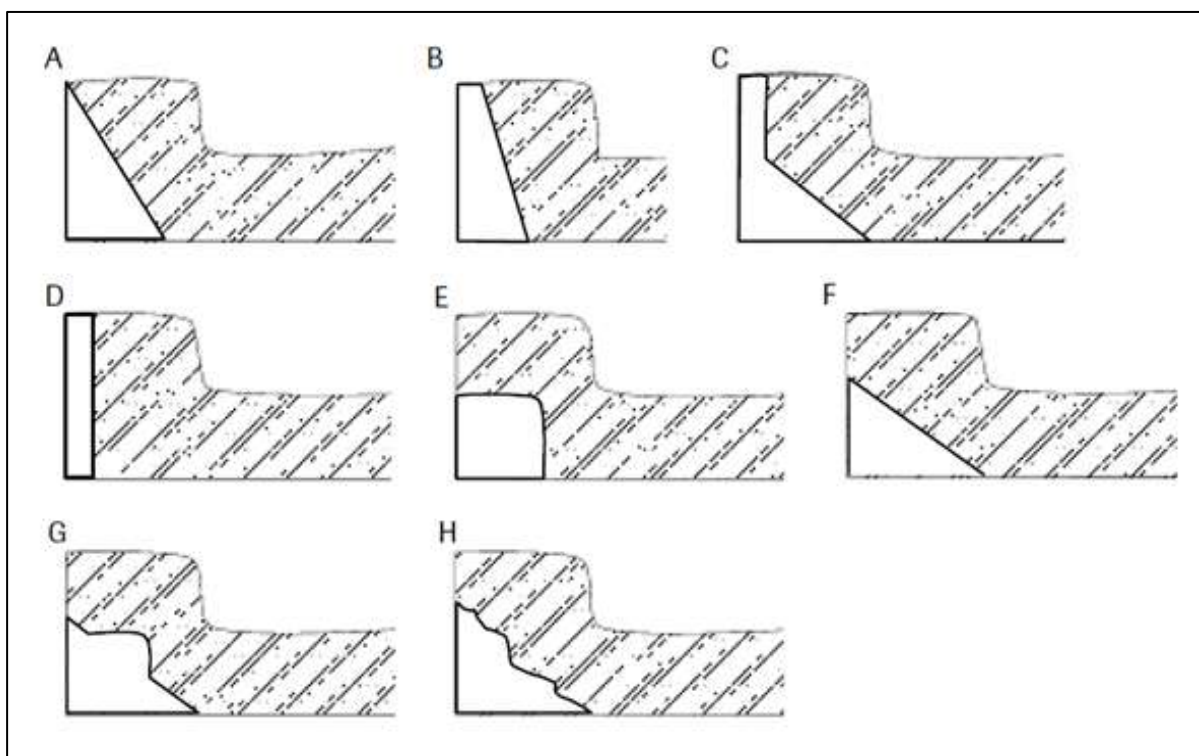
De diktes van de *tegulae* uit de museumcollectie variëren tussen 18–35 mm. De verschillende producties zijn niet te herkennen op basis van de dikte van de *tegulae*. Onder het ex-situ materiaal is een groot aantal fragmenten van *tegulae* aangetroffen, hiervan zijn geen maatvoeringen gedocumenteerd. Onder het materiaal uit de recente opgravingen zijn fragmenten van *tegulae* aangetroffen in baksel A, B, C, D, E, F en G; hiervan is geen maatvoering gedocumenteerd.

Tegulae hebben aan de boven- en onderzijde twee uitsnijdingen. Deze zorgen ervoor dat *tegulae* op een dak ineenschuiven en zo een continue waterdichte rij vormen. In dakconstructies werd de *tegula* samen gebruikt met de gewelfde tegel, de *imbrex*. Uit Engels onderzoek is gebleken dat de

dakconstructies door de tijd heen veranderen. Bij de eerste dakconstructies worden de *tegulae* door mortel bijeengehouden, later liggen ze los op en tegen elkaar. Technologische ontwikkeling in de dakbedekking is met name te zien aan de verandering in vorm van de uitsnijdingen aan de onderzijde van de *tegulae*.



Figuur 11 Schematische weergave van een tegula (Kars 2005, 259, afb. 9.2).



Figuur 12 Overzicht van de verschillende soorten uitsnijdingen A t/m H.

Bij het materiaal uit de museumcollectie van het Thermenterrein zijn geen *tegula* fragmenten met uitsnijdingen waargenomen. Op het ex-situ materiaal konden geen uitsnijdingen worden gedocumenteerd. Doordat de *tegulae* in de funderingen van het badhuis zijn ingemetseld, geldt voor het in-situ materiaal dat de uitsnijdingen aan het oog onttrokken zijn en kunnen deze niet worden vastgesteld. Onder het materiaal uit de recente opgravingen zijn twee fragmenten van *tegulae*

aangetroffen waarop een uitsnede zichtbaar was. Het betreft een fragment van een *tegula* in baksel A met uitsnede type F en een fragment van een *tegula* in baksel B met uitsnede type B. Gezien het geringe aantal uitsnijdingen kunnen deze niet als representatief voor het geheel worden gezien.

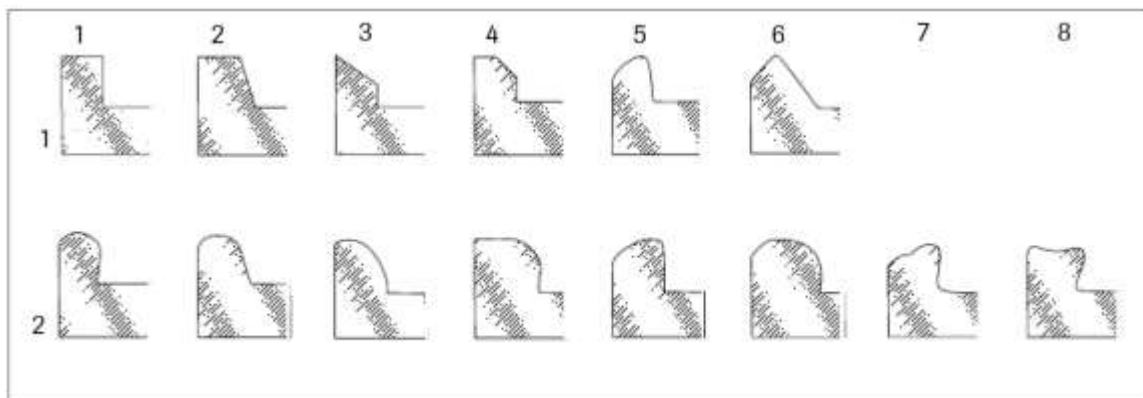
Baksel	Type uitsnijdingen	
	B	F
A	0	1
B	1	0
Totaal	1	1

Tabel 13 Verdeling van de verschillende onder-uitsnijdingen over de baksels uit de recente opgravingen.

Baksel	Type uitsnijdingen	
	C	F
A		4
B	2	
D	5	
F	1	
totaal	8	4

Tabel 14 Verdeling van de verschillende onder-uitsnijdingen over de baksels uit de natatio (ex-situ).

De opstaande randen, ook wel flenzen genoemd, werden met de hand afgewerkt en kunnen zodoende per tegelmaker van vorm verschillen. Op één *tegula* kunnen zelfs twee verschillende opstaande randen zijn aangebracht. Daarnaast kan de vorm van één rand dusdanig variëren dat deze als twee randvormen uit de analyse komt.



Figuur 13 Schematische weergave van de verschillende randtypen. De randen van de bovenste rij (varianten 11-16) hebben minstens één scherpe kant, die van de onderste rij (varianten 21-28) zijn afgerond.

In onderstaande tabel is weergegeven welke type randen of flenzen per baksel zijn waargenomen (museumcollectie, ex-situ, in-situ en recente opgraving). Aangezien van het ex-situ materiaal geen aantallen van het voorkomen van type randen kon worden vastgesteld is in onderstaande tabel weergegeven welk type randen voorkomt maar niet in welke hoeveelheid. Opvallend is dat in alle

baksels de dikke plumpe randen (type 24 en 25) aanwezig zijn. Voor baksel A geldt dat niet alleen brede maar ook wat smallere randen zijn aangetroffen. Voor baksel B geldt dat vrijwel alle aangetroffen randen van het type 24 zijn.

Baksel	randtype								
	11	12	21	22	23	24	25	26	27
A			x	x		x	x		x
B	x	x			x	x			
C						x	x		
D	x				x	x	x	x	x
E	x					x	x		
F						x	x		
G						x			
Indet							x		

Tabel 15 Voorkomen van de verschillende opstaande randen per baksel.



Figuur 14 Fragment van een tegula in bakselgroep A (met stempel CTEC).

Imbrices

Imbrices zijn taps toelopende gewelfde dakpannen die samen met *tegulae* worden gebruikt. Een *imbrex* wordt over de flenzen van twee naast elkaar gelegen *tegulae* geplaatst, waardoor een waterdichte constructie ontstaat. De *imbrices* lopen taps toe, zodat zij elkaar gedeeltelijk kunnen

overlappen. Net als *tegulae* zijn *imbrices* ook voor andere doeleinden gebruikt dan als dakbedekking, bijvoorbeeld als verwarmingsbuizen.³⁸

Onder de museumcollectie van het Thermenterrein bevinden zich drie complete *imbrices*. Twee *imbrices* zijn uitgevoerd in baksel A en meten 325 mm x 150 mm en 350 x 180 mm, met een dikte van 22–25 mm. Een derde *imbrex* is uitgevoerd in baksel D en meet 362 x 180 mm met een dikte van 23 mm. De diktes van de *imbrices* uit de museumcollectie variëren tussen 20–25 mm.

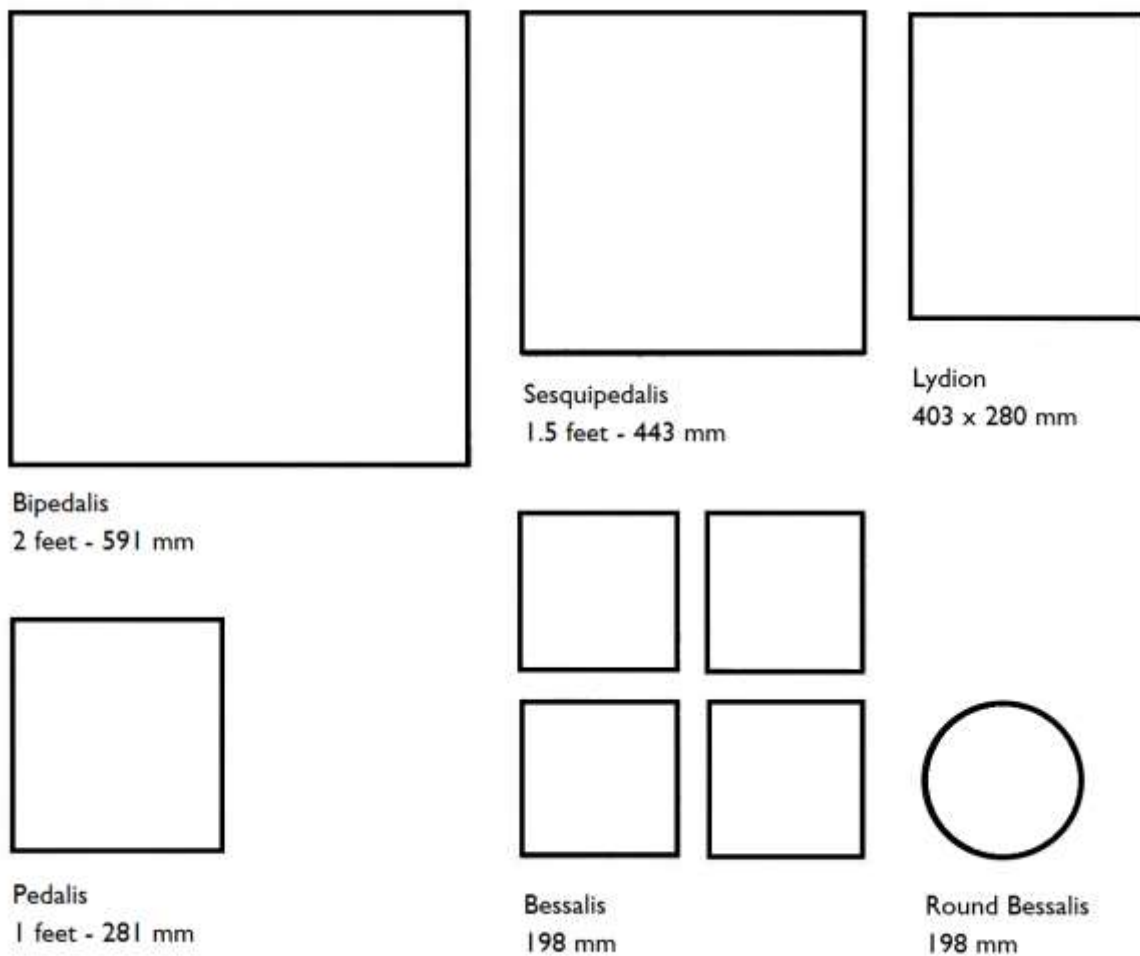
In situ zijn nauwelijks *imbrices* aanwezig, enkel als opvulling van de funderingsmuren. Van deze stukken kunnen geen maten worden gedocumenteerd. Onder het ex-situ materiaal zijn slechts enkele *imbrices* aangetroffen in baksels A, B, D en E, hiervan zijn geen maatvoeringen gedocumenteerd. Onder het materiaal uit de recente opgravingen zijn fragmenten van *imbrices* aangetroffen in baksel A, B, C, D, E en G; hiervan zijn geen maatvoeringen gedocumenteerd.



Figuur 15 Complete imbrex.

³⁸ Brodribb 1987, 26–27.

5.3 Tegels



Figuur 16 Schematische weergave van de maatvoering van lateres (naar Brodribb 1987).

Bessales

Het principe van een Romeins verwarmingssysteem (*hypocaustum*) is dat hete lucht onder de vloer en in de muren circuleerde. De constructie bestond uit een ondervloer (*area*) van beton. Op deze vloer stonden kleine pilaartjes (*pilae*) van ronde of vierkante *bessales*. Deze *pilae* droegen de bovenzijde (*suspensura*). De hete lucht circuleerde in de zo ontstane ruimte en warmde de bovenzijde op. Tevens werd de hete lucht door holle ruimtes in muren geleid. Dit kon door middel van twee systemen, half-box tiles of *tubuli*.

De naam *bessalis* heeft betrekking op de maat van de tegel en betekent dat ze 2/3 van een Romeinse voet (296 mm) meten. De *bessalis* kon vierkant of rond worden uitgevoerd.

Onder de museumcollectie van het Thermenterrein bevinden zich acht complete (vierkante) *bessales*. Drie *bessales* zijn uitgevoerd in baksel A (gestempeld L.XXXVV) en meten 190–198 x 190–194 mm, met een dikte van 46–49 mm. Twee *bessales* zijn uitgevoerd in baksel B en meten 220 x 220 mm, met een dikte van 61–64 mm. Eén *bessalis* is uitgevoerd in baksel D en meet 234 x 230 mm met een dikte

van 57 mm. Van twee overige *bessales* is geen baksel vastgesteld. Tevens is een ronde *bessalis* (onbekend baksel aangetroffen met een diameter van 185–190 mm en een dikte van 50 mm.

Van het in-situ materiaal zijn alle *bessales* uit de *pilae* in de verschillende ruimtes gedocumenteerd aangezien deze door de verplaatsing/verwijdering voor onderzoek beschikbaar waren. Bij zowel de ronde als de vierkante *bessales* is goed te zien dat verschillende matvoeringen in verschillende baksels voorkwamen. Bij de ronde *bessales* varieert de diameter van 17,5 tot 21 cm, met een dikte van 3,5 tot 8 cm. Bij de vierkante *bessales* variëren de zijden van 18 tot 26,5 cm, met een dikte van 3,5 tot 6,5 cm.

Baksel	Grootte in cm		
	17–19	19–21	21–23
A	x	x	x
B	x	x	
C		x	
D	x	x	x
G		x	x

Tabel 16 Matvoering van de ronde *bessales* in-situ.

Baksel	Grootte in cm				
	17–19	19–21	21–23	23–25	25–27
A		x	x		x
B		x	x	x	x
C		x			
D	x	x	x		x
E			x		
G		x		x	

Tabel 17 Matvoering van de vierkante *bessales* in-situ.

Onder het ex-situ materiaal van het thermenterrein en het materiaal uit de recente opgravingen zijn geen *bessales* aangetroffen.



Figuur 17 Vierkante bessalis in baksel B (met vogelpootindrukken).



Figuur 18 Ronde bessalis.

Pedales, sesquipedales en lydia

Naast *bessales* komen er ook grotere 'bakstenen' voor in het badhuis. Het gaat hierbij om *pedales* of *lydia*. Een *pedalis* werd gebruikt als voet- of kopstuk voor een stapel *bessales* in een hypocaustsysteem. De naam *pedalis* heeft betrekking op de maat van de tegel welke is afgeleid van het woord *pes* welke staat voor de Romeinse voet (296 mm) en meet normaliter 1 x 1 voet.

In het *frigidarium* is een *pedalis* aangetroffen die 29,5 x 29,5 cm meet.

Een *sesquipedalis* is een tegel die 1,5 x 1,5 voet meet. In het *caldarium* zijn *sesquipedales* aangetroffen die 42 x 42 cm meten, met een dikte van 6 cm.

Een *lydion* is een iets grotere baksteen welke voor meerdere doeleinden werd gebruikt, onder andere in muren en vloeren. De naam is afgeleid van Vitruvius die van de steen spreekt als de Lydische baksteen of *lydion*. De steen meet normaal gesproken 1,5 x 1 voet.

In het *frigidarium* zijn in situ *lydia* aangetroffen in een vloer. Deze stenen meten 29,5 x 43 cm.

Onder de museumcollectie van het Thermenterrein, het ex-situ materiaal en de vondsten uit de recente opgravingen bevinden zich geen complete *pedales* of *lydia*. Voor alle stukken hiervan geldt dat zonder complete zijdes niet kan worden bepaald of het een *pedales* of een *lydion* betreft. De dikte van de fragmenten uit de museumcollectie van het thermenmuseum varieert tussen 37-47 mm.

Bipedales

Een *bipedalis* is een grote tegel die twee bij twee voet meet. Deze stenen werden o.a. gebruikt voor de bekleding van vloeren en werden ook geplaatst boven op de *pilae* van een hypocaustsysteem.

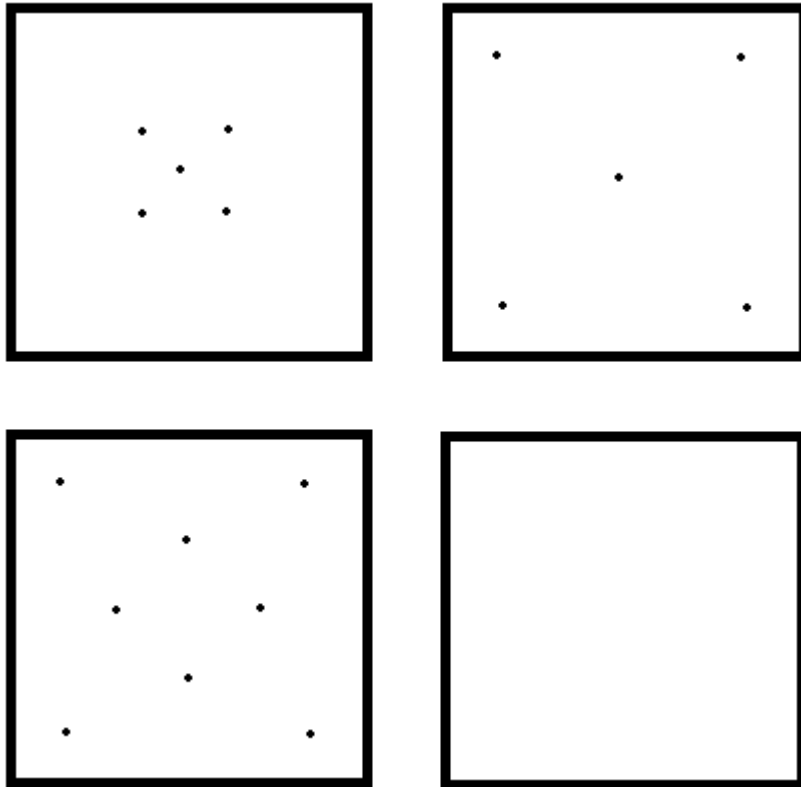
Onder de museumcollectie van het Thermenterrein, het ex-situ materiaal en de vondsten uit de recente opgravingen bevinden zich geen complete *bipedales*. De dikte van de fragmenten uit de museumcollectie van het thermenmuseum varieert tussen 53-55 mm.

In-situ zijn complete *bipedales* aangetroffen. In het *caldarium* zijn vier typen *bipedales* aangetroffen:

- *Bipedales* van 60 x 60 cm met 5 verspreide gaten (in baksel B)
- *Bipedales* van 60 x 60 cm zonder gaten (in baksel B)
- *Bipedales* van 57 x 57 cm met 5 gecentreerde gaten (baksel niet te bepalen)
- *Bipedales* van 55 x 55 cm met 8 gaten (baksel niet te bepalen)

In het *frigidarium* zijn eveneens twee typen *bipedales* aangetroffen:

- *Bipedales* van 54 x 53 cm (in baksel D)
- *Bipedales* van 58 x 58 cm (in baksel D)



Figuur 19 Vloer van keramisch bouw materiaal in caldarium – element 8, schematische weergave gatenpatronen in bipedales.

Spicatum lateres

Voor de visgraatvloeren, ook wel *opus spicatum* genoemd, werden kleine vloertegels (*lateres*) gebruikt. Van deze *spicatum lateres* zijn zeven complete exemplaren aanwezig in de museumcollectie van het Thermenterrein. Zes *spicatum lateres* zijn uitgevoerd in baksel G en meten 79–103 x 24–31 mm, met een dikte van 32–53 mm. Eén *spicatum later* is uitgevoerd in baksel C en meet 93 x 31 mm, met een dikte van 51 mm. In het ex-situ materiaal zijn geen *spicatum lateres* aanwezig. Onder het materiaal uit de recente opgravingen is één fragment van een *spicatum later* in baksel G aangetroffen, hiervan zijn geen maatvoeringen gedocumenteerd.

In situ komen de *spicatum* steentjes voor in het *apodyterium* en het rechter *frigidarium* bad. Deze *spicatum* steentjes meten 100 x 30 x 25 mm en zijn uitgevoerd in baksel G.



Figuur 20: Verschillende maten van *spicatum lateres*.

5.4 Overige vormen

Tubuli

Tubuli zijn holle rechthoekige tegels die op elkaar werden gestapeld en zo een pijp vormden, waardoor de hete lucht kon stromen. Soms zit in één van de zijden een gat, waardoor hete lucht de kamer in kon stromen. Over het algemeen worden half-box tiles als voorlopers gezien van de *tubuli*.³⁹ De lucht werd opgewarmd in aangrenzende stookruimtes, van waaruit een vuurtunnel (*praefurnium*) direct door de muur onder de *suspensura* leidde. Het was gebruikelijk om badhuizen op deze manier te verwarmen, maar in Engeland zijn ook voorbeelden van verwarmde eetkamers, gangen en voorvertrekken aangetroffen.⁴⁰

In situ zijn geen *tubuli* of half-tile boxes aangetroffen. *Tubuli* zijn aangetroffen in de museumcollectie en de recente opgravingen 2017/2018. Onder de *tubuli* uit de museumcollectie van het thermenterrein zijn zes stukken waarvan zowel de lengte als de breedte kon worden vastgesteld. In baksel A zijn een *tubulus* van 124 x 115 mm (dikte 19 mm), 285 x 263 mm (dikte 18 mm) en 273 x 240 mm (dikte 23 mm). In baksel D zijn een *tubulus* van 280 x 256 mm (dikte 18 mm) en 227 x 210 mm (dikte 22 mm). In baksel G is één *tubulus cunatus* met afmetingen 140 x 90 mm (dikte 16 mm).

³⁹ Brodrigg 1987.

⁴⁰ Brodrigg 1987, 71; Black 1985.



Figuur 21: Tubulus.

Tubus

Een *tubus* is een buis die als waterleiding werd gebruikt. In de museumcollectie van het thermenterrein is één *tubus* aangetroffen in baksel B. De *tubus* is 210 mm lang en heeft een diameter van 58 mm met een wanddikte van 11 mm.



Figuur 22: Tubus in baksel B (vnr. 6436).

Tegula hamata

Een *tegula hamata* of hakenziegel is een platte tegel met vier rechte opstaande hoeken, die lijken op een half-tile box, maar het formaat van een *tegula* hebben.

Tegulae hamatae zijn enkel aangetroffen in het materiaal uit de museumcollectie van het thermenterrein (in baksels A, B en E) waarbij geen maten konden worden vastgesteld, behalve de dikte die varieert van 30 tot 44 mm.



Figuur 23: Tegula hamata in baksel B (vnr. 7219).

Vorm/Type	Baksel
-----------	--------

	A	B	C	D	E	F	G	I	Indet	totaal
Tegula	15	4	3	9	9					40
imbrex	2	2		2					2	8
later (bessalis)	2	2		2					2	8
later (bessalis rond)									1	1
later (pedalis/lydion)	3	1		4			1	1	1	11
later (bipedalis)			1	1						2
later (spicatum)			2				6			8
parientalis				2						2
Plat	5	7	1	3	3					19
tubulus	9	5		8	2				1	25
tubulus cunatus	6						1			7
Tubus	0	1								1
tegula hamata	1	4			1					6
Totaal	43	26	7	31	15	0	8	1	7	138

Tabel 18 Vormen per baksel in de museumcollectie van het Thermenterrein.

Vorm/Type	Baksel									
	A	B	C	D	E	F	G	H	Indet	totaal
Tegula	x	x	x	x	x	x				
Imbrex	x	x		x	x					
later (bessalis)			x							
later (bessalis rond)										
later (pedalis/lydion)		x	x	x	x	x	x	x		
later (bipedalis)		x		x						
later (spicatum)										
parientalis										
Plat				x						
Tubulus										
tubulus cunatus										
Tubus										
tegula hamata										
Totaal										

Tabel 19 Vormen per baksel in het ex-situ materiaal uit het badgebouw.

Vorm/Type	Baksel									
	A	B	C	D	E	F	G	H	Indet	totaal
Tegula	x	x	x	x			X			
Imbrex		x			x					
later (bessalis)		x	x	x	x		x			
later (bessalis rond)	x	x	x	x			x			
later (pedalis/lydion)	x	x	x	x	x		x			
Later (lydion)	X			x						
Later (pedalis)							x			
Later (sesquipedalis)	x									
later (bipedalis)	x	x		x			x			
later (spicatum)				x			x			
parientalis										
Plat										
Tubulus										
tubulus cunatus										
Tubus										
tegula hamata										
Totaal										

Tabel 20 Vormen per baksel in het in-situ materiaal uit het badgebouw.

Vorm/Type	Baksel								
	A	B	C	D	E	F	G	Indet	totaal
Tegula	9	87	1	30	1	1	8	4	141
Imbrex	3	28	1	16	1		2	3	54
later (pedales/lydion)		1							1
later (spicatum)							1		1
Plat	8	29	1	28	1		7	4	78
Tubulus	4	3		5					12
Indet	46	268	1	108	6		15	176	620
totaal	70	416	4	187	9	1	33	187	907

Tabel 21 Vormen per baksel uit de opgravingen 2017/2018.

5.5 Conclusie

Uit de bestudering van alle vormen vallen een aantal dingen op. In alle complexen wordt de meerderheid van het materiaal gevormd door *tegulae* in verschillende baksels. Onderdelen die toebehoren aan een hypocaustsysteem zoals de *tubuli* ontbreken in-situ volledig maar zijn zowel in de museumcollectie van het thermenterrein als in het materiaal uit de opgraving 2017/2018 aanwezig. Hetzelfde geldt ook voor *imbrices* die in situ vrijwel ontbreken maar in de museumcollectie en opgraving 2017/2018 goed vertegenwoordigd zijn.

Helaas zijn er te weinig complete objecten aangetroffen om conclusies te kunnen trekken omtrent de maatvoering per baksel. Zodoende biedt het onderzoek naar de vormen weinig aanknopingspunten met betrekking tot de datering van het materiaal.

6.1 Inleiding

Indrukken op keramisch bouwmetaal kunnen worden onderverdeeld in twee groepen: bewuste en onbewuste indrukken. Onder bewuste indrukken vallen o.a. stempels, signaturen en rekenmerken en onder onbewuste indrukken vallen alle indrukken die onbedoeld op een fragment zijn aangebracht, o.a. dierenpoot afdrukken en voetafdrukken. In het huidige onderzoek zijn slechts een beperkt aantal indrukken waargenomen. Het merendeel van deze indrukken is afkomstig van ex-situ metaal dat afkomstig is uit de museumcollectie van het Thermenterrein. In-situ is een groot aantal *tegulae* aanwezig in de funderingsmuren. Doordat deze *tegulae* met de flens naar voren zijn geplaatst, is niet zichtbaar of er bewuste of onbewuste indrukken op de *tegulae* aanwezig zijn. Derhalve is het niet mogelijk om de aanwezige indrukken te kwantificeren.

6.2 Stempels, signaturen en rekenmerken

6.1.1 Stempels

Onder het onderzochte metaal afkomstig uit de verschillende datasets van het badhuis en de directe omgeving zijn slechts tien gestempelde fragmenten aangetroffen. Dit betekent dat van al het onderzochte metaal op slechts 0,15 % de aanwezigheid van een stempel kon worden vastgesteld. Dit lage percentage geeft wederom aan waarom onderzoek naar uitsluitend gestempeld metaal niet als representatief kan worden beschouwd. Desalniettemin vormen de gestempelde stukken belangrijke aanknopingspunten met betrekking tot de herkomst van de in en rond het badhuis gebruikte producten. Hieronder zullen de gestempelde stukken per stempel worden besproken.

MHF

Onder het metaal van de thermen in Heerlen zijn drie gestempelde stukken aangetroffen met het stempel MHF. Door de Poorter & Claeys⁴¹ zijn hierin verschillende typen te onderscheiden die door Clerbaut & Geerts⁴² opnieuw zijn ingedeeld:

- Type 1: gescheiden karakters MHF
- Type 2: losstaande M en 'zuivere' ligatuur tussen H en F
- Type 3: losstaande M en complexe ligatuur met onzekere lezing

Het stempel op vondstnr. 23936 is van het type 1, met duidelijk leesbare karakters. Het stempel op vnr. 23937 is eveneens van het type 1, waarbij er echter geen MHF maar MHE te lezen valt. Het derde stempel op vnr. 3273 is van het type 3. Op het laatste stuk is bovendien een dierenpoot indruk van een katachtige aanwezig (vondstnr. 3273)(zie Figuur 24).

De stempels van MHF komen veelvuldig in de regio rond Heerlen voor en zijn uit Nederland onder andere bekend uit Heerlen, Meerssen (Herkenbergh), Nuth (Vaesrade), Stein, Valkenburg (Houtem)⁴³,

⁴¹ De Poorter & Claeys 1989.

⁴² Clerbaut & Geerts 2014

⁴³ De Poorter & Claeys 1989, 120.

Maastricht en Susteren⁴⁴. In België zijn de stempels bekend van meerdere locaties te Tongeren waaronder de Vermeulensestraat⁴⁵ en de Beukenbergweg⁴⁶, Berneau (Haut Pireaux), Boirs, Haccourt, Jupille-sur-Meuse, Lixhe, 's-Gravenvoeren en Visé.⁴⁷

Het stempel is enkel bekend in een cirkelvormig kader waarbij varianten bestaan waar geen MHF maar MHE wordt gelezen, tevens komen varianten voor zonder ligatuur tussen de H en de F. Door Clerbaut en Geerts is gesuggereerd dat de beste lezing van het stempel MHEF zou moeten zijn. Waarbij de laatste F mogelijk op F(ecit) wijst zoals ook voorkomt bij aardewerkstempels. De betekenis van deze afkorting is vooralsnog onbekend. Het idee dat de producent met dit stempel zich had toegespitst op bijzondere tegelvormen en geen *tegulae* produceerden is echter niet correct aangezien te Heerlen juist drie *tegulae* met dit stempel zijn aangetroffen, ook in Susteren is onlangs een *tegula* met dit stempel (type 2) aangetroffen.⁴⁸ De stukken met het stempel MHF worden gedateerd in de tweede helft van de 2^{de} eeuw tot vroeg in de 3^{de} eeuw na Chr.⁴⁹



Figuur 24: Tegula met stempel MHF (Heerlen thermen, vnr. 3273).

⁴⁴ Vanderhoeven & Kars in voorbereiding.

⁴⁵ Clerbaut & De Winter 2016, 35.

⁴⁶ Clerbaut & Geerts 2014, 52.

⁴⁷ De Poorter & Claeys 1989, 119.

⁴⁸ Vanderhoeven & Kars, in prep.

⁴⁹ Clerbaut & Geerts 2014, 542.



Figuur 25: Tegula met stempel MHF (Heerlen thermen, vnr. 23937).



Figuur 26: Tegula met stempel MHF (Heerlen thermen, vnr. 23936).

CTEC

Onder het materiaal van de thermen in Heerlen zijn vier gestempelde stukken aangetroffen met het stempel CTEC. Geen van de gestempelde stukken is in situ aangetroffen. Het betreft twee stempels CTEC zonder cartouche in lettergrootte 8 mm en twee stempels CTEC zonder cartouche in lettergrootte 13 mm. Hoewel hetzelfde stempel door sommigen als CEC of CETC wordt gelezen lijkt CTEC de beste lezing. Hierbij vormen de T en E veelal een ligatuur. De Poorter en Claeys hebben vier typen CTEC stempels onderscheiden⁵⁰:

- type A - betreft een groot cirkelvormig stempel waarbij de letter E retrograde gestempeld is en in sommige gevallen een ligatuur met de T vormt.
- type B - betreft een klein cirkelvormig stempel, tussen de letters C staat een ligatuur van de letters T en E of alleen een letter E.
- type C - betreft een stempel zonder kader, tussen de letters C staat een ligatuur van de letters T en E of alleen de letter E
- type D - betreft een stempel in een rechthoekig kader.

De verschillende stempels hebben wellicht te maken met een verschil in datering. De stempels uit de thermen behoren tot het type C. De letters CTEC zijn door Peuskens-Tromme in 1977 geïnterpreteerd als C(anabae) TE(gularum)/TE(gulariorum) C(oriovallensium).⁵¹ Volgens deze interpretatie zou de civiele pannenbakkerij zich in het huidige Heerlen moeten hebben bevonden. Er is vooralsnog echter geen aanwijzing dat Heerlen een canabae heeft gehad. Tevens is nog geen locatie aangetroffen in of rondom Heerlen die wijst op de productie van keramisch bouw materiaal.

De meeste dakpanfragmenten met CTEC stempel zijn in Zuid Limburg en Belgisch Limburg aangetroffen. Fragmenten met dit stempel zijn in Nederland o.a. bekend uit Echt, Eijsden-Mesch, Haelen-Melenborg⁵², Heer-Backerbosch, Valkenburg, Heerlen dr. Poelstraat⁵³, Heerlen Valkenburgseweg⁵⁴, Cuijk⁵⁵, Hulsberg, Grubbenvorst, Leiden-Roomburg, Voorburg-Arentsburg⁵⁶, Maasbracht-Beek⁵⁷ en in Maastricht. In België zijn fragmenten met stempels o.a. aangetroffen in Berneau, Boirs, Eben-Emael, Lanaye, Lixhe, Millen, 's-Gravenvoeren, Neerharen-Rekem, meerdere locaties in Tongeren⁵⁸ waaronder de Vermeulensestraat⁵⁹, Visé en Vivegnis.

⁵⁰ De Poorter & Claeys 1989, 39.

⁵¹ De Poorter & Claeys 1989, 45.

⁵² Fragment uit privé collectie gevonden in 1852, zie ook Bogaers 1962-1963, 78.

⁵³ Kars 2007, 44-46: het betreft een fragment met een type A stempel.

⁵⁴ Vanderhoeven & Kars 2012, 97; het betreft een fragment met een type A stempel en drie fragmenten met een type B stempel.

⁵⁵ Enckevort & Thijssen 2002, 67.

⁵⁶ Bogaers 1971.

⁵⁷ Bij ROB opgravingen van een villa in Maasbracht-Beek in 1982 werden een aantal fragmenten van tegulae aangetroffen met het CTEC stempel. Het betreft meerdere varianten van dit stempel.

⁵⁸ Bij onderzoek te Tongeren is op het terrein van het Gallo-Romeins museum een stadshuis aangetroffen waarbij een tegula met CTEC stempel (type C) is ingemetseld in de vloer van een hypocaust (mondelijke mededeling A.Vanderhoeven).

⁵⁹ Clerbaut & De Winter 2016, 35.

In de directe nabijheid van het thermenterrein is een *tegula* met stempel van CTEC aangetroffen op de hoek van de Coriovallumstraat en Schoolstraat (zie Figuur 27: Tegula met stempel CTEC (type B) (Heerlen Coriovallumstraat 1952, vnr. 238).Figuur 27).⁶⁰ Het gaat hierbij om een CTEC stempel in rond kader van het type B.

Ook van het kleine type stempel CTEC (zonder cartouche, lettergrootte 8 mm) is een exemplaar aangetroffen in Heerlen.⁶¹

De datering van het stempel is nog onzeker, maar de stempels type B die aangetroffen werden in een kelder van een huis aan de Valkenburgseweg kunnen gedateerd worden in de eerste helft van de 3^{de} eeuw na Chr.⁶² Onder de vloer van deze kelder bevond zich namelijk een munt van Commodus die aan het einde van de 2^{de} eeuw kan worden gedateerd. Na een brand is het huis ingestort en het dak in de kelder terecht gekomen. Het jongste vondstmateriaal uit deze instortingslaag geeft een aanwijzing voor het tijdstip waarop het stenen gebouw uit gebruik is geraakt: het eerste of tweede kwart van de 3e eeuw.



Figuur 27: Tegula met stempel CTEC (type B) (Heerlen Coriovallumstraat 1952, vnr. 238).

⁶⁰ Opgegraven in 1952. In de collectie van het Thermenmuseum, vnr. 238.

⁶¹ In de collectie van het Thermenmuseum, vnr. 3079.

⁶² Tichelman & Janssens 2012, 45, 130.



Figuur 28: Tegula met stempel CTEC (Heerlen thermen, vnr. 23935).



Figuur 29: Tegula met stempel CTEC (Heerlen thermen, vnr. 3271).



Figuur 30: Tegula met stempel CTEC (Heerlen thermen, vnr. 3277).



Figuur 31: Tegula met stempel CTEC (Heerlen thermen, vnr. 3591).

LXXXVV

Onder het materiaal van de thermen in Heerlen zijn drie gestempelde stukken aangetroffen met het stempel LXXXVV in een dubbel kader, van het 30^{ste} legioen. Opvallend is dat alle drie de stukken gebruik hebben gemaakt van hetzelfde stempel en dat het stempel aan de rechterzijde dieper is ingedrukt dan aan de linkerkzijde. Ook interessant is dat op één fragment het stempel alleen aan de rechterzijde leesbaar is en dat er een afdruk van een naakte linkervoet op staat (vnr. 8645) (zie Figuur 32). De gestempelde stukken zijn uitgevoerd in baksel A6, een variant in bakselgroep A. Het baksel vertoont geen overeenkomst met de limesbaksels uit de referentiec collectie van EARTH.

Behalve in Heerlen zijn stukken keramisch bouw materiaal met stempels van het 30^{ste} legioen o.a. bekend uit Nijmegen (Hunnerberg), Zwammerdam⁶³, Utrecht⁶⁴, Valkenburg⁶⁵, Arentsburg⁶⁶, Voorburg, Venlo, Tegelen, Belfeld, Altenburg (Duitsland) en uit Xanten. Deze stempels lezen echter allen LEGXXXVV of LEGXXX. Vooralsnog zijn enkel uit Heerlen en Aken stempels bekend die LXXXVV lezen.

Het Legio XXX Ulpia Victrix werd vermoedelijk in 103 na Chr. opgericht in Brigetio/Szony door keizer Trajanus⁶⁷. Er zijn aanwijzingen dat een deel van het legioen tussen 118 en 120 in Nijmegen was gestationeerd. Zeker is dat het leger vanaf 122 in Xanten was gelegen in het legerkamp Castra Vetera II. Het 30^{ste} legioen bleef in deze regio tot het einde van de 3^{de} eeuw en mogelijk zelfs later.

⁶³ Haalebos 1974, 182; Haalebos 1973, 228; De Raaf 1957/1958, 49.

⁶⁴ Bloemers 1989, 143.

⁶⁵ Glasbergen 1962, 5.

⁶⁶ Holwerda 1923, 140.

⁶⁷ Brandl 1999, 233–234.



Figuur 32: Bessalis met stempel L.XXX.VV met afdruk van linkervoet (Heerlen thermen, vnr. 8645).



Figuur 33: Bessalis met stempel L.XXX.VV (Heerlen thermen, vnr. 8646).

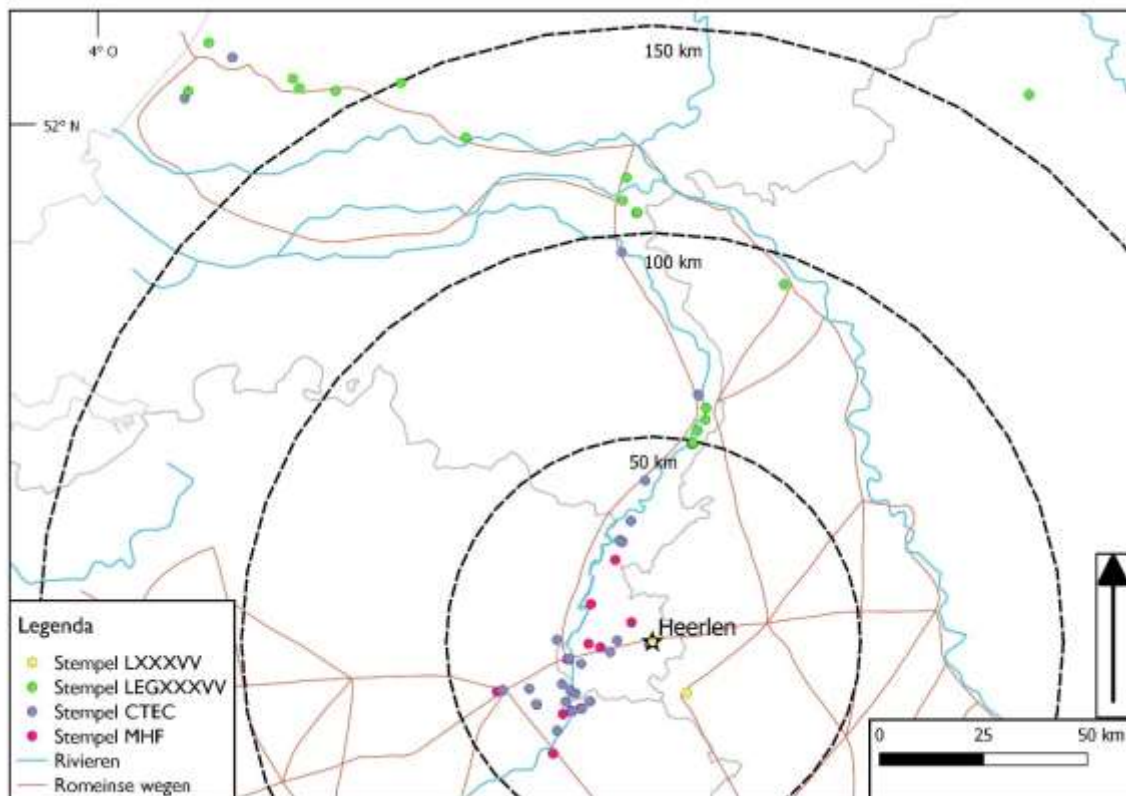


Figuur 34: Bessalis met stempel L.XXX.VV (Heerlen thermen, vnr. 5239).

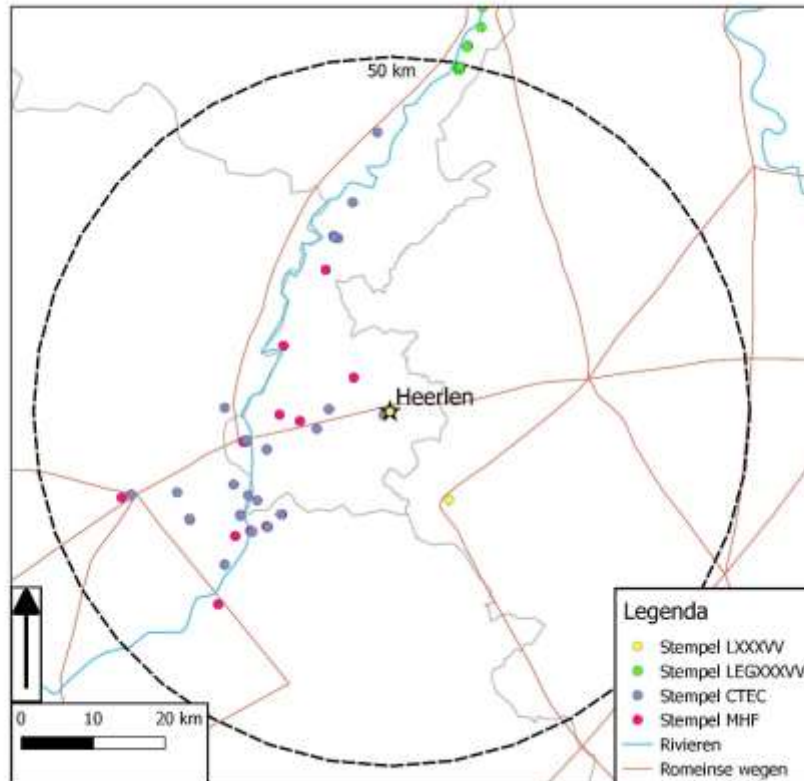
Bakselgroep	Baksel	Vorm	Stempel	Vondstnr.
A	A1	tegula	CTEC (zonder cartouche/13mm)	3277
A	A1	plat	CTEC (zonder cartouche/13mm)	3591
A	A4	tegula	MHF	3273
A	A4	tegula	MHF (gescheiden karakters, niet gesloten cirkel)	23936
A	A4	tegula	MHF (gescheiden karakters, niet gesloten cirkel)	23937
A	A5	tegula	CTEC (zonder cartouche/8mm)	3271
A	A5	tegula	CTEC (zonder cartouche/8mm)	23935
A	A6	bessalis	L.XXXVV	5239
A	A6	bessalis	L.XXXVV	8645
A	A6	bessalis	L.XXXVV	8646

Tabel 22 Overzicht van de aangetroffen stempels op het thermenterrein per baksel en bakselgroep.

De verspreiding van de stempels is weergegeven in onderstaande afbeelding. De verspreidingskaart berust op de informatie die ten tijde van deze rapportage bij de auteurs voorhanden is, waarbij met name bronnen uit België en Nederland zijn gebruikt. Hierbij is enkel gekeken naar de stempels, maar zijn niet van alle stukken het baksel geverifieerd. In theorie is het mogelijk dat een stempel voor verschillende producties/baksels wordt gebruikt. Opvallend is dat de stempels van MHF zich concentreren ten westen van Heerlen rond Maastricht. Ook voor CTEC geldt dat het merendeel van de stempels ten zuiden van Maastricht is aangetroffen, alhoewel dit stempel ook veel verder noordelijker terecht is gekomen in Cuijk en een enkel exemplaar zelfs in het kustgebied van west Nederland. De stempels van L.XXXVV komen in en rondom Heerlen voor. Materiaal van het 30^{ste} legioen met stempel LEGXXXVV komt uitsluitend in Nijmegen, Xanten en langs de limes voor. Het betreft hier overigens ook andere baksels. De verspreiding van het baksel A met de stempels CTEC, MHF en L.XXXVV lijkt zich voornamelijk te concentreren binnen het gebied in een straal van ca. 50 km rondom Heerlen.



Figuur 35 Verspreidingskaart van de in Heerlen in bakselgroep A aangetroffen stempels LXXXVV, CTEC en MHF; tevens aangegeven de verspreiding van het stempel LEGXXXVV; in blauw de rivieren, in rood het Romeins wegennetwerk.



Figuur 36 Detail van de verspreidingskaart van de in Heerlen in bakselgroep A aangetroffen stempels LXXXVV, CTEC en MHF; tevens aangegeven de verspreiding van het stempel LEGXXXVV; in blauw de rivieren, in rood het Romeins wegennetwerk.

6.1.2 Signaturen

Uit onderzoek van Warry is gebleken dat signaturen werden aangebracht door de pannenbakker wanneer de pan nog nat was. Tevens komen de signaturen slechts op een gedeelte van de pannen voor (Warry 2006, 90–91). Een andere interpretatie is dat de signaturen gebruikt werden om de individuele productie van een pannenbakker te markeren (Warry 2006, 91). Recent onderzoek naar keramisch bouw materiaal afkomstig van de *vicus* te Heerlen (Valkenburgseweg) lijkt dit laatste idee te ontcrachten, aangezien hier meerdere individuen binnen één pannenbakkerij hetzelfde signatuur hebben geplaatst (Vanderhoeven & Kars 2012). Het voorkomen van signaturen wordt door de auteurs geïnterpreteerd als een onderdeel van een professionele productie.

Te Heerlen zijn enkel signaturen waargenomen op het materiaal uit de museumcollectie van het thermenterrein en op de in-situ *tegulae* in de goten.

Te Heerlen zijn acht verschillende soorten signaturen aangetroffen:

- dubbele krul of lus (met twee vingers) in baksel A en E
- anderhalve lus in baksel C
- '6' of '9' in baksel E en A6
- 'C' in baksel C
- enkele boog (met een vinger) in baksel C

- dubbele boog of halve cirkel (met twee vingers) in baksel B en D
- driedubbele boog (met drie vingers) in baksel E
- dubbele strik (met twee vingers) in baksel D

De dubbele krul of lus komt vooral voor in baksel A. Dit komt overeen met het beeld van de Valkenburgseweg waar een groot aantal signaturen met lus in baksel A zijn aangetroffen.⁶⁸ In baksel B komt een groot aantal stukken voor met een dubbele boog of halve cirkel. In baksel D komt een opvallend signatuur voor dat het best kan worden omschreven als een dubbele strik of strakke krul met twee rechte benen. Tot slot komen meerder signaturen voor die eruit zien als een '6' of '9' op baksel E.



Figuur 37 Fragment van een tegula in baksel B met signatuur in de vorm van een halve boog met twee vingers.

⁶⁸ Vanderhoeven & Kars 2012, 99, signatuur 1; productie van CTEC.



Figuur 38 Fragment van een tegula in baksel D met signatuur in de vorm van een strik met twee vingers.

Er zijn geen rekenmerken aangetroffen.

6.3 Onbewuste indrukken

Pootafdrukken konden op de pannen terecht komen wanneer deze lagen te drogen, alvorens te worden gebakken. De aanwezigheid van dierpootafdrukken vertelt ons iets over het productieproces, namelijk dat de pannen niet goed afgedekt werden terwijl ze lagen te drogen. Dierpootafdrukken kunnen ons derhalve ook iets vertellen over de producent. Volgens een Engels onderzoek duidt de afwezigheid van pootafdrukken op een professionele, gespecialiseerde bakkerij. De aanwezigheid van pootafdrukken duidt juist op een kleiner, niet fulltime werkende bakkerij.⁶⁹

Op het materiaal uit Heerlen zijn een groot aantal pootafdrukken aangetroffen. De meerderheid van het materiaal is afkomstig uit de museumcollectie van het thermenterrein die geen representatieve weergave is. Sterker nog de meerderheid van deze stukken is waarschijnlijk juist bewaard omdat er een dierpootindruk op aanwezig is. Op de verschillende vormen zijn met name indrukken van honden aangetroffen en een enkele keer een kat. Daarnaast zijn meerdere indrukken aangetroffen van sandalen en één afdruk van een naakte voet.

Baksel	Vorm	Indruk
A	Pedales of lydion	dierpoot – hond
A	Bessalis	voet / stempel LEGXXXVV
A	Plat	dierpoot – kat?

⁶⁹ Kars 2005, 266; Cram & Fulford 1979, 201–210.

A	Plat	dierpoot - hond?
A	Tegula	dierpoot - hond
A	Tegula	dierpoot - hond / stempel MHF
A	Tegula	dierpoot - hond?
A	Tegula	sandaal
B	Plat	dierpoot - hond?
B	Plat	sandaal
B	Tegula	sandaal
C	Plat	dierpoot - hond?
D	Bessalis	dierpoot - hond
D	Bessalis	dierpoot - hond?
D	Bipedalis	dierpoot - hond?
D	Pedales of lydion	dierpoot - ?
D	Pedales of lydion	dierpoot - ?
D	Plat	dierpoot - hond
D	Tegula	dierpoot - hond
D	Tegula	dierpoot - hond
D	Tegula	dierpoot - hond
D	Tegula	sandaal
E	Tegula	dierpoot - hond
E	Tegula	dierpoot - hond
E	Tegula	sandaal
E	Tegula	sandaal
G	Spicatum later	dierpoot - kat
Indet	Bessalis	dierpoot - hond?

Tabel 23 Overzicht van onbewuste indrukken op stukken uit de museumcollectie van het thermenterrein.



Figuur 39: Bessalis met afdruk van hondenpoten.



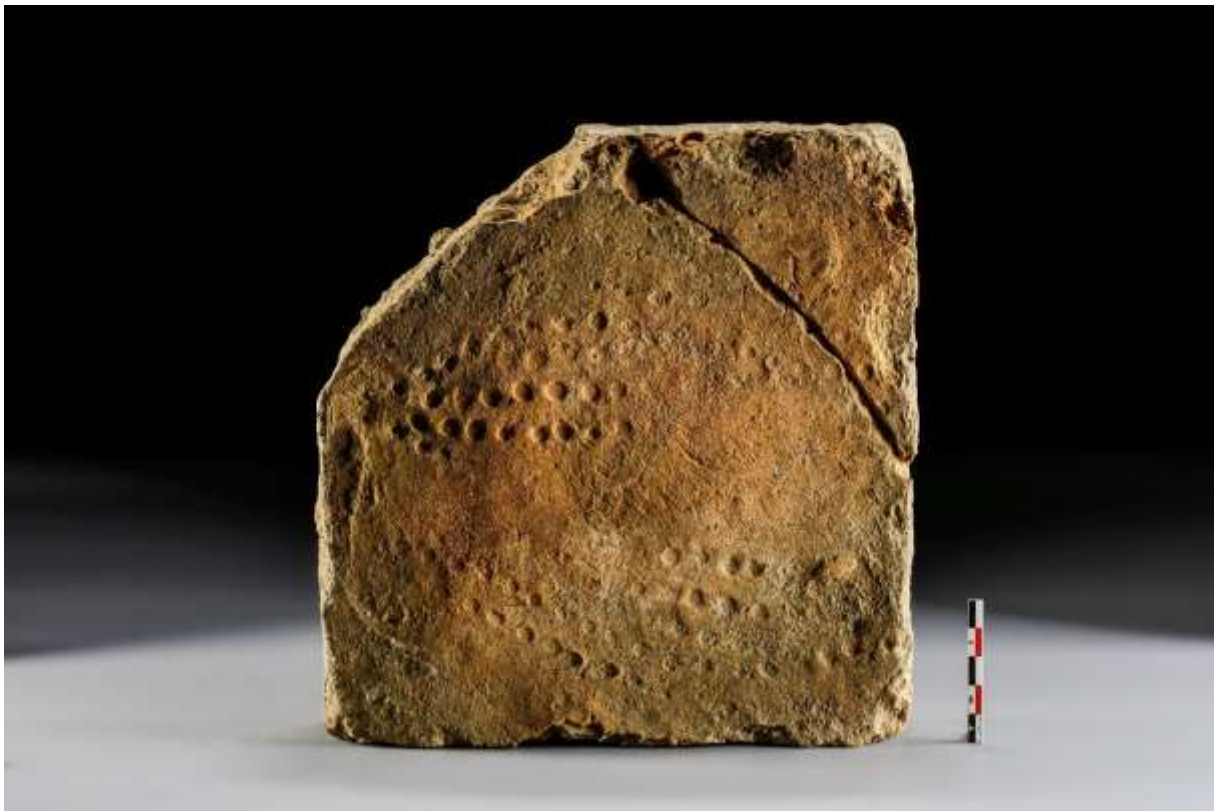
Figuur 40: Bessalis met afdruk van hondenpoten.



Figuur 41: Tegula met afdruk van hondenpoten (vnr. 6954).



Figuur 42: Spicatum later met afdruk van kattenpoot.



Figuur 43: Bessalis met afdruk van sandaal.

6.4 Conclusie

Uit de indrukken op het keramisch bouwmetaal zijn een aantal conclusies te trekken. Onder het bouwmetaal te Heerlen zijn alleen stempels aangetroffen op metaal in bakselgroep A. De veronderstelling is dat al het metaal in baksel A van dezelfde productie afkomstig is. Dit zou kunnen betekenen dat niet elke productie of producent de gewoonte heeft om zijn productie te stempelen aangezien in baksel B-H geen stempels zijn aangetroffen. Hoewel aangenomen wordt dat slechts een deel van het keramisch bouwmetaal gestempeld wordt, is het statistisch gezien zeer onwaarschijnlijk dat bij het huidige onderzoek 'toevallig' alleen ongestempeld metaal van baksel B-H is bekeken. Opvallend is niet alleen dat er uitsluitend in baksel A stempels voorkomen, maar ook dat het om verschillende stempels gaat (zowel civiel als militair). Mogelijk is het gebruik van stempelen alleen noodzakelijk als op een productieplaats meerdere producenten actief zijn, of als een producent voor meerdere afnemers produceert?

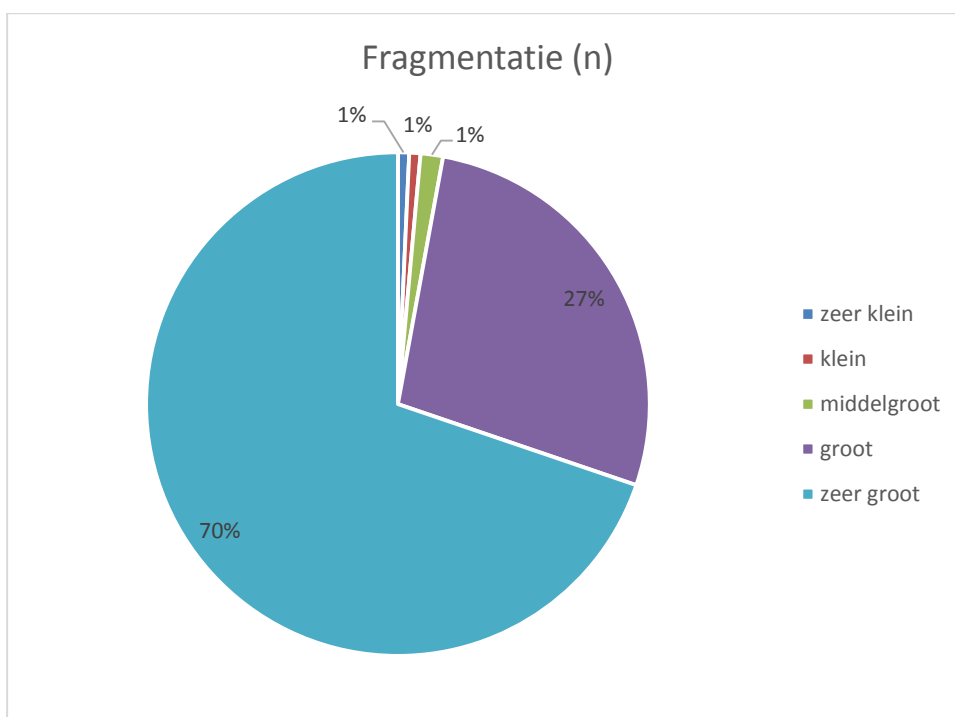
Uit de aangetroffen signaturen blijkt dat bepaalde signaturen uitsluitend op bepaalde baksels voorkomen. Dit bevestigt het idee dat signaturen niet wijzen op de productie van individuele pannenbakkers, maar onderdeel zijn van een professioneel productieproces.

Op alle baksels te Heerlen zijn indrukken aangetroffen van dierpoten en sandalen. Er zijn geen verschillen in de professionaliteit van de baksels te herkennen op basis van het al dan niet aanwezig zijn van onbewuste indrukken. Voor alle baksels geldt dat de producten tijdens het productieproces op een plaats te drogen hebben gelegen waar dieren (met name honden) er toegang toe hadden.

Het keramisch bouw materiaal is tijdens de determinatie ingedeeld in vijf grootteklassen: zeer klein (<10 mm), klein (10–40 mm), middelgroot (40–60 mm), groot (60–100 mm) en zeer groot (>100 mm). De fragmenten worden op basis van hun grootste diameter ingedeeld in deze klassen.

7.1 Museumcollectie van het thermenterrein

Het materiaal in de museumcollectie is zeer weinig gefragmenteerd en bevat zeer veel grote fragmenten. Maar liefst 97% van het materiaal valt in de grootteklasse 'groot' of 'zeer groot'. Hierbij moet wel vermeld worden dat in het veld selectie heeft plaatsgevonden, waarbij de allerkleinste en niet museumwaardige fragmenten niet zijn meegenomen. Van verwerking van het materiaal is nauwelijks sprake. De lage fragmentatiegraad en het gebrek aan verwerking duiden erop dat we te maken hebben met materiaal dat hier primair gebruikt is en daarna in de grond terecht is gekomen.



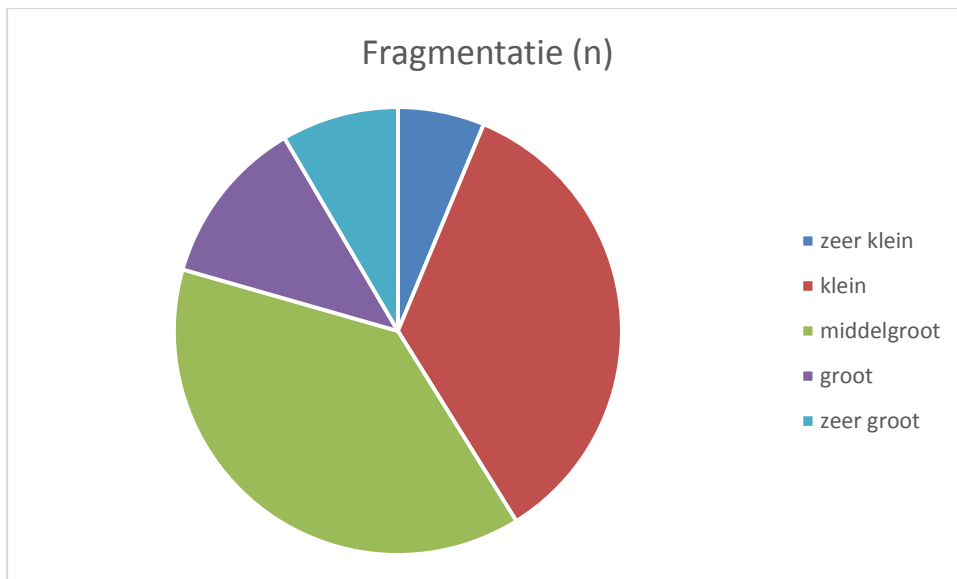
Figuur 44 Fragmentatiegraad keramisch bouw materiaal in de museumcollectie van het thermenterrein.

7.2 Ex-situ materiaal uit het badgebouw

Het keramisch bouw materiaal dat verzameld is uit het badgebouw is nauwelijks gefragmenteerd en valt vrijwel geheel in de klasse zeer groot. Het merendeel van het materiaal bestaat uit zeer grote fragmenten van *tegulae* en *lateres*. Daarnaast komen enkele grote fragmenten van *imbrices* voor. Van verwerking van het materiaal is nauwelijks sprake. De fragmentatie van de stukken is niet gekwantificeerd.

7.3 Opgravingsmateriaal uit de opgravingen 2017/2018

Het materiaal uit de recente opgravingen is het sterkst gefragmenteerd, waarbij ruim 40% klein tot zeer klein is. De hoge fragmentatiegraad duidt erop dat we te maken hebben met secundair materiaal.



Figuur 45 Fragmentatiegraad keramisch bouwmetaal in opgravingen 2017/2018.

7.4 In-situ metaal uit het badgebouw

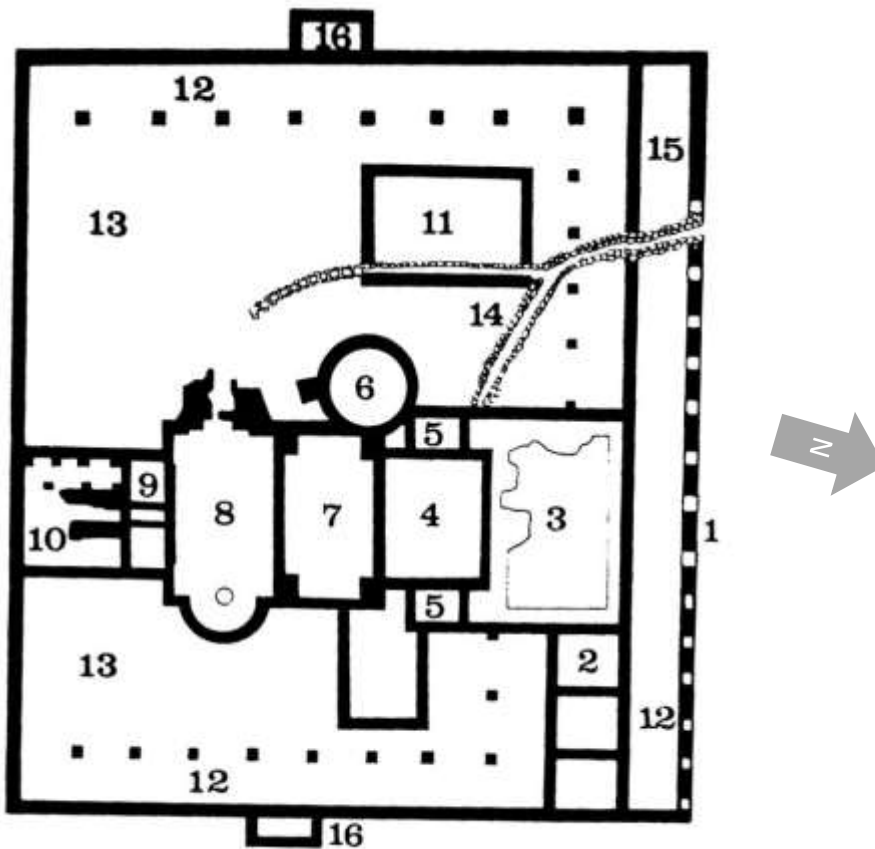
Het keramisch bouwmetaal dat nog in situ aanwezig is in het badgebouw is nauwelijks gefragmenteerd aangezien het grotendeels primair gebruik betreft. Wel zijn de vullingen van verschillende muren opgevuld met gebroken bouwpuin. Van vertering van het metaal in situ is nauwelijks sprake. De fragmentatie van de stukken is niet gekwantificeerd.

7.5 Conclusie

Het onderzoek naar de fragmentatie laat vooral zien dat de museumcollectie van het thermenterrein geen representatieve weergave is, maar een selectie betreft van mooie grote stukken die op het thermenterrein zijn aangetroffen.

8.1 *In-situ observaties*

In het onderzoek naar het badhuis worden de verscheidene ruimtes van het badhuis vrijwel altijd benoemd met de Latijnse benaming van hun bestemming. Aangezien de bestemming van de ruimtes juist ook onderwerp van het onderzoek is, hebben wij ervoor gekozen om de ruimtes op neutrale wijze in te delen met gebruikmaking van de gangbare ruimtenummers. Deze nummering is weergegeven op onderstaande Figuur 46.



Figuur 46 Weergave van de verschillende ruimtes in het badhuis.

Tijdens een eerste inventarisatie is voor elke ruimte en onderdeel daarvan in het badhuis nagegaan of er keramisch bouw materiaal aanwezig is en zo ja waar dit materiaal uit bestaat, hiervoor is een quickscan uitgevoerd. Een overzicht hiervan is weergegeven in onderstaande Tabel 24.

Ruimte	Veronderstelde functie	Aanwezigheid KBM?	Locatie KBM
1	Buitenmuur	Ja	speklaag van <i>tegulae</i> horizontaal geplaatst in zuidmuur
2	<i>Tabernae</i>	Nee	Nvt

3	<i>apodyterium</i> (entreehal)	Ja	<i>opus spicatum</i> vloer
4	<i>frigidarium</i> (ruimte)	Ja	vloer uit verschillende rechthoekige tegelformaten
5	<i>frigidarium</i> (baden)	Ja	binnenmuur (badopbouw) met speklagen en vloer van <i>opus spicatum</i>
6	<i>sudatorium</i>	Ja	rondom muur van <i>tegulae</i> met flens naar voren, opvulling muurkern van keramisch puin, <i>hypocaust</i> pilaartjes van <i>bessales</i>
7	<i>tepidarium</i>	Ja	binnenmuur van <i>tegulae</i> met flens naar voren, opvulling muurkern van keramisch puin, <i>hypocaust</i> pilaartjes van <i>bessales</i>
8	<i>caldarium</i>	Ja	binnenmuur van <i>tegulae</i> met flens naar voren, vloer van grote vierkante tegels (<i>bipedales</i>), <i>hypocaust</i> pilaartjes met <i>bessales</i>
	<i>praefurnium 2</i>	Ja	<i>praefurnium</i> met allerlei hergebruikt materiaal
9	<i>praefurnium 1</i> (ketelruimte?bad?) /. alveus	Ja	muren van <i>tegulae</i> met flens naar voren
10	<i>praefurnium 1</i>	Ja	muren van <i>tegulae</i> met flens naar voren en vloer met verticaal geplaatste <i>tegulae</i> in visgraat en in haaks patroon
11	<i>natatio</i>	Ja	afvoergoot bekleed met <i>tegulae</i> als bodem
12	noordelijke <i>porticus</i>	Ja	keramisch puin in afvallaag onder natuursteen pilaren
13	<i>palaestra</i> (binnenhof)	Nee	Nvt
14	afvoer	Ja	afvoer bekleed met <i>tegulae</i> als bodem
15	noordelijke <i>porticus</i>	Nee	Nvt
16	<i>exedra</i> (bekkens?)	Nee	westelijk wel KBM in doorbraak, lijkt niets te maken te hebben met de oorspronkelijke structuur

Tabel 24 Overzicht van de aanwezigheid van keramisch bouw materiaal in de verschillende ruimtes van het badhuis.

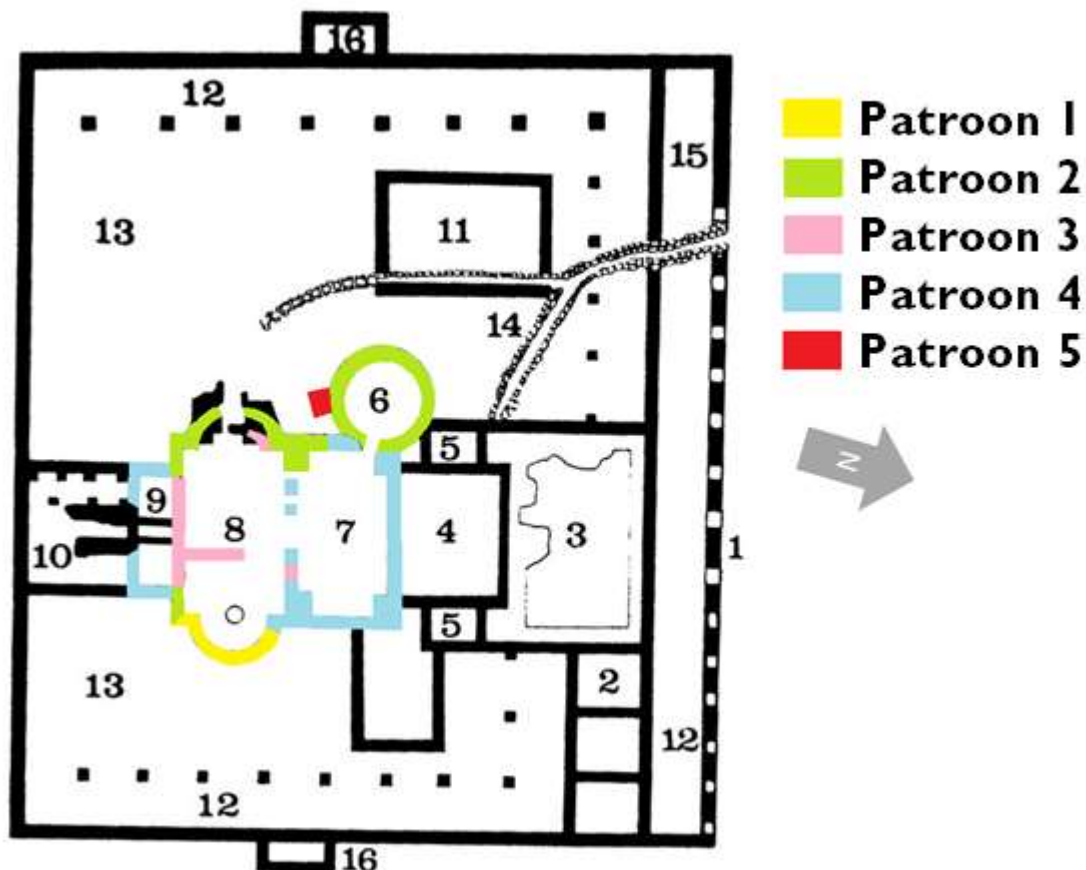
Aan de hand van de inventarisatie is bepaald welk keramisch bouw materiaal in nader detail bestudeerd diende te worden. Hieronder zal eerst per type structuur en vervolgens per ruimte het aanwezige keramisch bouw materiaal worden beschreven. Het voorkomen van alle verschillende vormen en baksels per ruimte is opgenomen in Bijlage 6.

Muren

Er is voor gekozen om de binnenmuren van de verwarmde ruimtes niet volledig te documenteren maar te sampelen door meerdere profielkolommen te documenteren van één meter breedte. Daarbij is op basis van de QuickScan een selectie van 15 kolommen onderzocht. Deze kolommen zijn verdeeld over alle ruimtes. Kolommen van één meter breedte geven een goed beeld van een muur. Bij de bestudering van de muurkolommen is gebleken dat er vijf verschillende patronen herkend zijn. Wat deze patronen betekenen is onderwerp van de bouwhistorische interpretatie (zie Hoofdstuk XXX). Deze patronen kunnen indicatief zijn voor de fasering of wijze van constructie van het badhuis. Derhalve zijn deze patronen benoemd als patronen en is het voorkomen hiervan grafisch weergegeven. De verschillende patronen kunnen het gevolg zijn van verschillende oorzaken, bijvoorbeeld een andere bouw fase, een

andere uitvoerder of een andere leverancier. Binnen patronen A, B en D is het gebruik van *tegulae* in bakselgroep B te zien.

- **Patroon 1:** dit patroon bestaat uitsluitend uit *tegulae* of fragmenten van *tegulae* die met de flens naar voren zijn geplaatst. Tussen elke *tegula* met flens is het middendeel van een *tegula* (zonder flens) horizontaal geplaatst om de ruimte op te vullen. De basis van dit patroon bestaat uitsluitend uit *tegulae* in baksel B1 en baksel B2. Ter hoogte van het oorspronkelijke vloerniveau (*suspensura*) van het badhuis zijn *tegulae* in baksel D gebruikt.
- **Patroon 2:** dit patroon bestaat uitsluitend uit *tegulae* of fragmenten van *tegulae* die met de flens naar voren zijn geplaatst. Tussen elke *tegula* met flens is het middendeel van een *tegula* (zonder flens) horizontaal geplaatst om de ruimte op te vullen. De basis van dit patroon bestaat uitsluitend uit *tegulae* in baksel B1 en baksel B2. Na de onderste lagen (ca. 4 lagen) bestaat de muur uit een mengeling van *tegulae* in baksels B en D en sporadisch G.
- **Patroon 3:** dit patroon bestaat aan de onderzijde uit één rij van kalkstenen blokken (Kunrader kalksteen). Daarboven zijn grotendeels vloertegels (*lateres: bessales, pedales en bipedales*) gebruikt in diverse baksels (A, B, D en G). Daarnaast komen enkele *tegulae* voor in baksel D. Hier kan ook opgemerkt worden dat de mortel anders is dan bij patroon 1 en 2.
- **Patroon 4:** dit patroon bestaat uitsluitend uit *tegulae* die met de flens naar voren zijn geplaatst. Tussen elke *tegula* met flens is het middendeel van een *tegula* (zonder flens) horizontaal geplaatst om de ruimte op te vullen. De basis van dit patroon bestaat uitsluitend uit *tegulae* in baksel B1 en baksel B2. Na de onderste lagen (ca. 4 lagen) bestaat de muur uit een mengeling van *tegulae* in baksels B, D, G en C (item 23).
- **Patroon 5:** dit patroon bestaat uit een slecht gesorteerde mengeling van allerlei vormen en baksels.



Figuur 47 Weergave van de verschillende ruimtes in het badhuis en verschillende patronen.

Vloeren

Van de vloeren zijn de voorkomende vormen en baksels vastgesteld. Daarbij is gekeken of het om complete vloeren in één baksel gaat of om delen van vloeren. De gedachte is dat de samenstelling van de vloer inzicht biedt in de vraag of het om een oorspronkelijk aankleding of een verbouwing of reparatie gaat. De interpretatie van de samenstelling van de vloeren is onderdeel van het bouwhistorische onderzoek (zie Hoofdstuk XXX).

Tijdens de analyse zijn de volgende complete vloeren herkend:

- **Opus signinum:** vloer van Romeins beton (mortel met bouwkeramiek of natuursteen)
 - Aanwezig in ruimte 6 en 7
- **Opus spicatum:** visgraat vloer met kleine spicatumsteentjes
 - Aanwezig in ruimte 3 en 5
- **Vloer met *lydia*:** rechthoekige vloertegels
 - Aanwezig in ruimte 4
- **Vloer met *bipedales*:** grote vierkante vloertegels
 - Aanwezig in ruimte 5, 8 en 9

Hypocausttegels

Van alle hypocausttegels of *bessales* die in de verschillende ruimtes aanwezig waren is de vorm (vierkant of rond) en het baksel vastgesteld. Tevens is gelet op de maatvoering om te bepalen of het om grotere partijen van dezelfde *bessales* gaat of om een mix van verschillende origine. Hierbij zijn twee typen *bessales* aangetroffen die domineren:

- Vierkante *bessales* in baksel B
- Vierkante *bessales* in baksel D

8.1.1 Ruimte 1 (buitenmuur)

In ruimte 1, de buitenmuur van het badhuis is geen keramisch bouw materiaal aanwezig, met uitzondering van de zuidmuur. In de zuidmuur is over een kleine lengte een speklaag van horizontaal geplaatste *tegula* fragmenten aanwezig (zie Figuur 48). De laag bestaat uit zes fragmenten van *tegulae* in bakselgroep A (o.a. een donkere variant) en bakselgroep G. Van alle *tegulae* zijn de flenzen afgeslagen.



Figuur 48 Speklaag van keramisch bouw materiaal in zuidmuur - ruimte 1.

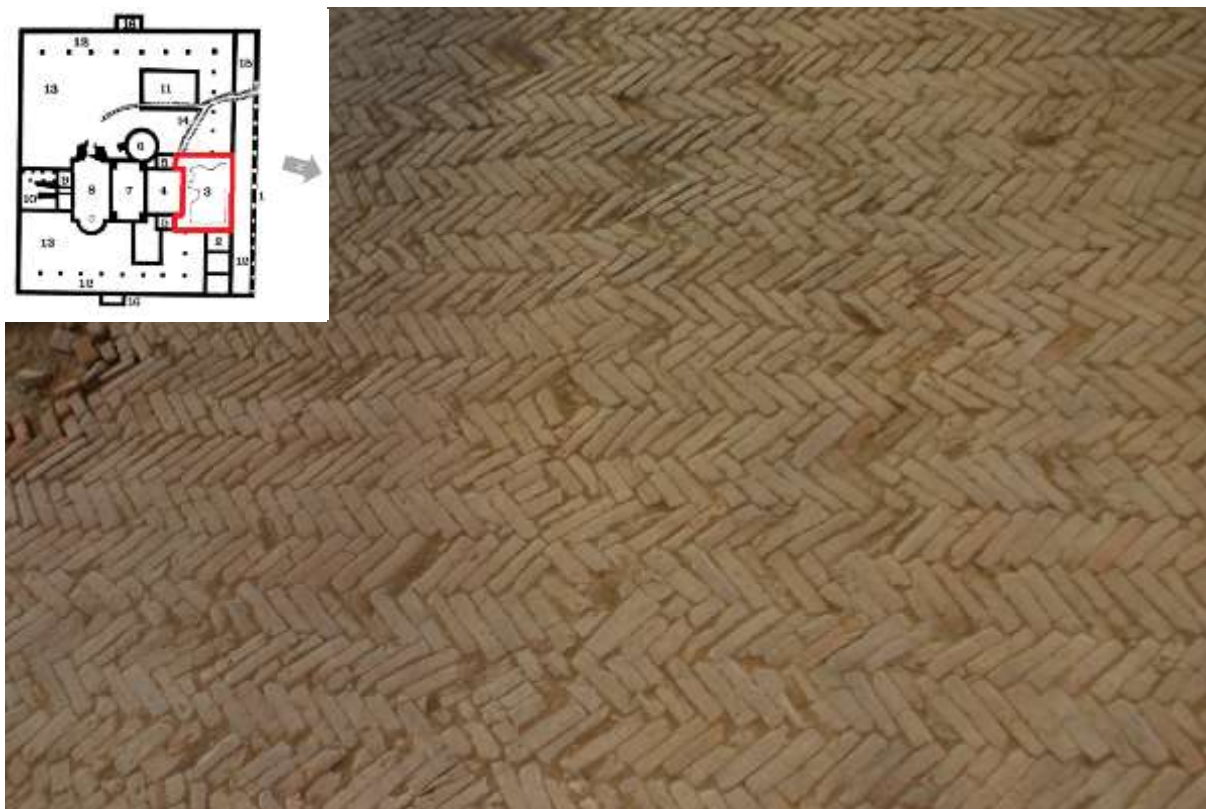
8.1.2 Ruimte 2 (tabernae)

In ruimte 2 (die geïnterpreteerd is als kleine winkeltjes of *tabernae*) is geen aanwezigheid van keramisch bouw materiaal geconstateerd. Mogelijk is dit te wijten aan het feit dat er enkel ruwe fundering bewaard is gebleven.

8.1.3 Ruimte 3 (apodyterium)

In ruimte 3 (dat geïnterpreteerd is als *apodyterium* of kleedruimte)⁷⁰ is een vloer van keramisch bouw materiaal aanwezig, waarvan de samenstelling is onderzocht. De overgrote meerderheid van de vloer bestaat uit een visgraatvloer de zogenaamde *opus spicatum* techniek waarbij kleine steentjes (*spicatum lateres*) in een visgraatmotief op hun kant zijn geplaatst. Opvallend aan de *opus spicatum* vloer in de entreehal is de slordige wijze waarop deze is geconstrueerd. Er zijn meerdere 'breuklijnen' te zien waar de richting van de visgraat elkaar snijdt. Aan de oostzijde van de vloer zijn dubbele rijen met halve *spicatum* steentjes gelegd. De steentjes meten ca. 100 x 30 x 25 mm en zijn uitgevoerd in baksel G. De *opus spicatum* is omvat door een betonnen rand waarin met mozaïek steentjes bogen ter decoratie zijn aangebracht. Opvallend is dat de binnenzijde van de buitenrand overal is afgebrokkeld, mogelijk is deze gedeeltelijk weg- of afgekapt om de *spicatum* vloer in te kunnen zetten. In het midden van de zuidmuur van de entreehal is de betonrand afwezig en opgevuld met *opus spicatum*, dit geeft aan dat de *spicatum* vloer niet gelijktijdig met de betonrand is aangelegd. In de zuidwesthoek is de afwezigheid van de betonrand opgevuld met vierkante *bessales* (in baksel E) en enkele stukken van *tegulae* met afgeslagen flens.

Door de slijtage en verkleuring zijn de steentjes van de *opus spicatum* vloer niet van bovenaf op baksel te determineren. Bij het bakselonderzoek zijn wel meerdere monsters van *lateres* uit de vloer genomen. Deze monsters zijn alle van hetzelfde baksel G. Dit is tevens bevestigd tijdens de schoonmaak van de vloer door Restaura.⁷¹ Uitsluitend in de zuidwesthoek van de entreehal zijn enkele losliggende *spicatum* steentjes aangetroffen die een ander baksel, baksel D, hebben.



⁷⁰ Van Giffen & Glasbergen 1948, 210.

⁷¹ mondelinge mededeling Leon Theelen

Figuur 49 Vloer van keramisch bouw materiaal (*opus spicatum*) in entreehal, voor de schoonmaak – ruimte 3.



Figuur 50 Vloer van keramisch bouw materiaal (*opus spicatum*) in entreehal – ruimte 3, met op de voorgrond zichtbaar een breuklijn waar de richting van de visgraat verandert.

8.1.4 Ruimte 4 (*frigidarium*)

Ruimte 4 betreft een ruimte (geïnterpreteerd als het *frigidarium*) met aan weerszijde een klein bad, de zogenaamde *piscinae* (ruimte 5). In ruimte 4 is een vloer van keramisch bouw materiaal aanwezig, deze vloer bestaat uit *lydia* (290 x 430 mm) in baksel A1. Onder deze vloer ligt een mozaïekvloer. De vloer met *lydia* is in een regelmatig verspringend verband gelegd. Opvallend zijn de kleine ronde indrukken die op de tegels aanwezig zijn, twee per tegel. Deze indrukken wijzen mogelijk op het gebruik van *spacers* (droog- of bakhulpen) bij de productie.

Hoewel de vloer in een groot gedeelte van het *frigidarium* ontbreekt, is aan de zuidzijde van de ruimte een onregelmatige invulling te zien waarbij enkele vierkante *bessales* in baksel B (295 x 295 mm) zijn gebruikt en *bipedales* in twee verschillende baksels en maten (540 x 530 mm en 580 x 580 mm). Deze *bipedales* zijn bemonsterd en hieruit is gebleken dat het *bipedales* in twee varianten van baksel D betreft. Ook het westelijke deel van de vloerbekleding bestaat voornamelijk uit *bipedales* in baksel D. De *bipedales* komen niet overeen met de bekleding van het *caldarium*.

Van Giffen veronderstelde dat de oorspronkelijke vloerbedekking conform het voorschrift van Vitruvius uit *bipedales* zou moeten hebben bestaan⁷². Hoewel dit mogelijk is, is er geen bewijs voor deze hypothese gevonden.

⁷² Van Giffen 1948, 211.



Figuur 51 Vloer van keramisch bouwmetaal in frigidarium – ruimte 4.



Figuur 52 Vloer van keramisch bouwmetaal in frigidarium, lydia – ruimte 4.



Figuur 53 Vloer van keramisch bouwmetaal in frigidarium, lydia met kleine ronde indrukken – ruimte 4.



Figuur 54 Vloer van keramisch bouwmetaal in frigidarium, vierkante bessales in baksel B – ruimte 4.



Figuur 55 Vloer van keramisch bouwmetaal in frigidarium, bipedales – ruimte 4.



Figuur 56 Natuurstenen dorpel in westmuur frigidarium, naar sudatorium – ruimte 4.

8.1.5 Ruimte 5 (frigidarium baden)

Ruimte 5 betreft hoogstwaarschijnlijk twee koudwaterbaden in het *frigidarium*, de zogenaamde *piscinae*⁷³. De binnenmuren hiervan bevatten speklagen van keramisch bouwmetaal. Daarnaast bevat het oostelijke bad een vloer van *bipedales* en het westelijke bad een *opus spicatum* vloer. De baden zijn toegankelijk via een lage trap of bank, de zogenaamde *pluteus*. (Van Giffen 1948, 211).

Oostelijke frigidarium bad

Het oostelijke *frigidarium* bad heeft een vloer die bestaat uit drie rijen van vier *bipedales* van 580 x 598 mm in baksel D. De *bipedales* hebben geen gaten. Van de vloer zijn nog de resten van 7 *bipedales* aanwezig, met name het middendeel van de vloer ontbreekt. In het bad zit een trappetje (*pluteus*) met drie treden die is opgebouwd uit keramisch bouwmetaal in baksel D. De trap is 0,70 m hoog en 1,08 m breed. De binnenmuur van het bad is opgebouwd uit een rode *opus signinum* (veel gebroken bouwkeramiek) met speklagen van *lateres* (hoogstwaarschijnlijk *lydia*) in baksel D. De bovenste speklaag bestaat uit *lydia* in baksel A.



Figuur 57 Vloer van keramisch bouwmetaal in oostelijke frigidarium bad– ruimte 5.

⁷³ Van Giffen 1948, 211.



Figuur 58 Westelijke muur met gebroken bouwpuin en speklagen van keramisch bouwmetaal in oostelijke frigidarium bad – ruimte 5.



Figuur 59 Trappetje (pluteus) van keramisch bouwmetaal in oostelijke frigidarium bad – ruimte 5.
Westelijke frigidarium bad

Het westelijke frigidarium bad heeft een vloer die bekleed is met een visgraatvloer (*opus spicatum*) in baksel G. De steentjes lijken iets kleiner of smaller te zijn dan die gebruikt in de entreehal. Opvallend is een vierkante *bessalis* in baksel B die onderdeel uitmaakt van de vloer aan de westkant. In het bad zit een trappetje met drie treden in tegenstelling tot het trappetje in het oostelijke bad is deze niet opgebouwd uit keramisch bouwmetaal maar uit natuursteen. Bij het trappetje is goed zichtbaar dat de *opus spicatum* vloer niet doorloopt onder de eerste stuclaag. Bij een tweede stuclaag is er een kwartronde plint aan de onderzijde van de muur gemaakt die gedeeltelijk over de vloer met *opus spicatum* ligt, ook de eerdergenoemde vierkante *bessales* wordt hierdoor overdekt. Op de oostelijke muur van het bad is tevens te zien dat een derde stuclaag tegen de kwartronde plint aan is gestuct.

De binnenmuur van het bad (oostelijke muur) is opgebouwd uit een rode *opus signinum* (veel gebroken bouwkeramiek) met speklagen van *lydia* in baksel D.



Figuur 60 Vloer van keramisch bouwmetaal (opus spicatum) in westelijke frigidarium bad- ruimte 5.



Figuur 61 Vloer van keramisch bouwmetaal (opus spicatum) in westelijke frigidarium bad, met vierkante bessalis in baksel B – ruimte 5.



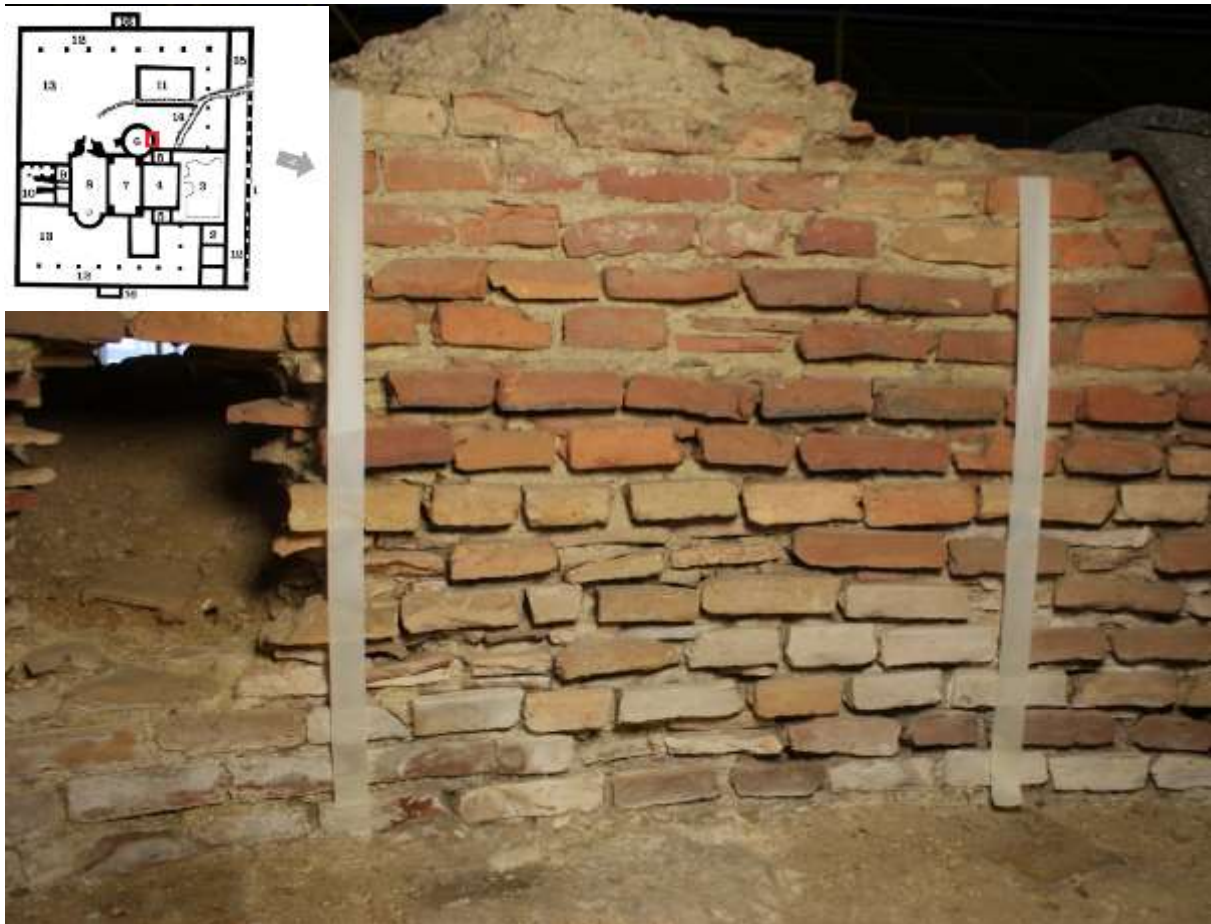
Figuur 62 Trap van natuursteen in westelijke frigidarium bad – ruimte 5.



Figuur 63 Muur met drie fasen stuc – ruimte 5.

8.1.6 Ruimte 6 (sudatorium)

Ruimte 6 betreft een ronde ruimte die doorgaans als zweetruimte of *sudatorium (laconicum)* wordt bestempeld. De funderingsmuur van deze ruimte is aan de binnenzijde bekleed met keramisch bouw materiaal. De ronde fundering is opgebouwd van *tegulae* die met de flens naar de voorzijde zijn geplaatst. De vulling van de muur bestaat uit allerlei bouwpuin. Van de muur is één kolom onderzocht (zie Bijlage 1), de gehele muur vertoont een gelijke opbouw. De onderste zeven lagen van de funderingsmuur bestaan hoofdzakelijk uit *tegulae* in baksel B (B1 en B2). Daarboven bevinden zich lagen met een mengeling van baksel B, D en G. De funderingsmuur is hiermee geclassificeerd als patroon 2. In de opbouw zijn enkele verspringingen naar buiten toe te zien, deze laten geen verschillende samenstelling van baksels zien.



Figuur 64 Muur van keramisch bouw materiaal in sudatorium – ruimte 6.

De gang van het *sudatorium* naar het *tepidarium* is dichtgezet. De dichtzetting van de ruimte ziet er zeer rommelig uit en lijkt om een willekeur van gefragmenteerd materiaal te gaan (Figuur 65). Het betreft onder andere *tegulae* in baksel B en *imbrices* in baksel B en E. Een deel van de *imbrices* zijn overdwars geplaatst.



Figuur 65 Dichtzetting sudatorium, gezien vanuit het tepidarium.

Aan het *sudatorium* is een stookmond geplaatst. Deze stookmond is zowel aan de binnenzijde als buitenzijde zeer rommelig opgebouwd (zie Figuur 66). Van de buitenzijde van de stookmond zijn alle vormen en baksels geïnterpreteerd (zie Bijlage 1). Hoewel de meerderheid van de stukken uit *tegulae* bestaat, zijn er ook andere platte vormen gebruikt waaronder *bessales*, *pedales/bipedales* en platte stukken met kerfsnede (*parientales* of *tegulae hamatae*, mogelijke onderdelen van hypocaustsystemen). De baksels die in deze constructie voorkomen zijn divers: baksel A, B, C, D, F en G. Opvallend is het voorkomen van enkele stukken in een zeer bleke B-variant met een rode deklaag.



Figuur 66 Rommelige secundaire stookmond van keramisch bouwmetaal aan de buitenzijde van het sudatorium – ruimte 6.



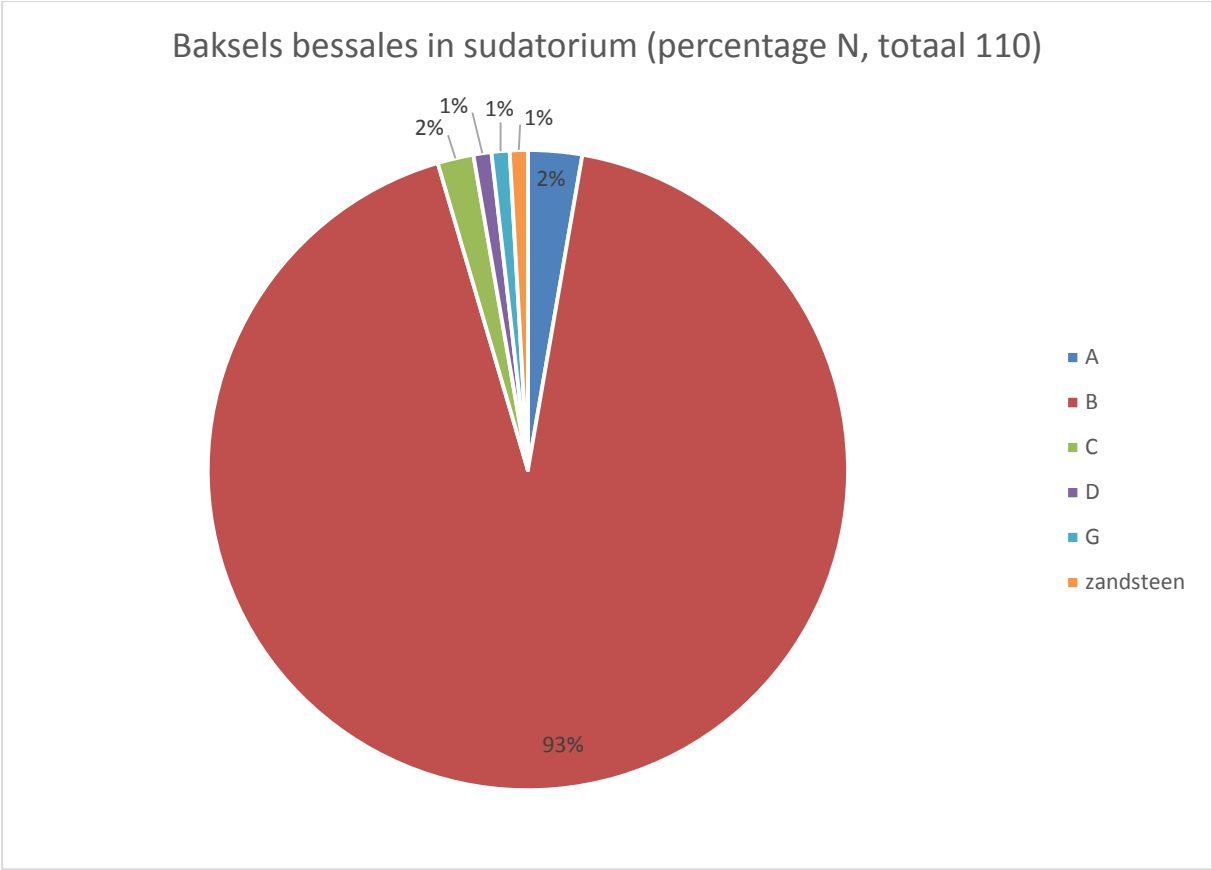
Figuur 67 Roodgeverfde tegulae in baksel B – in secundaire stookmond van ruimte 6.



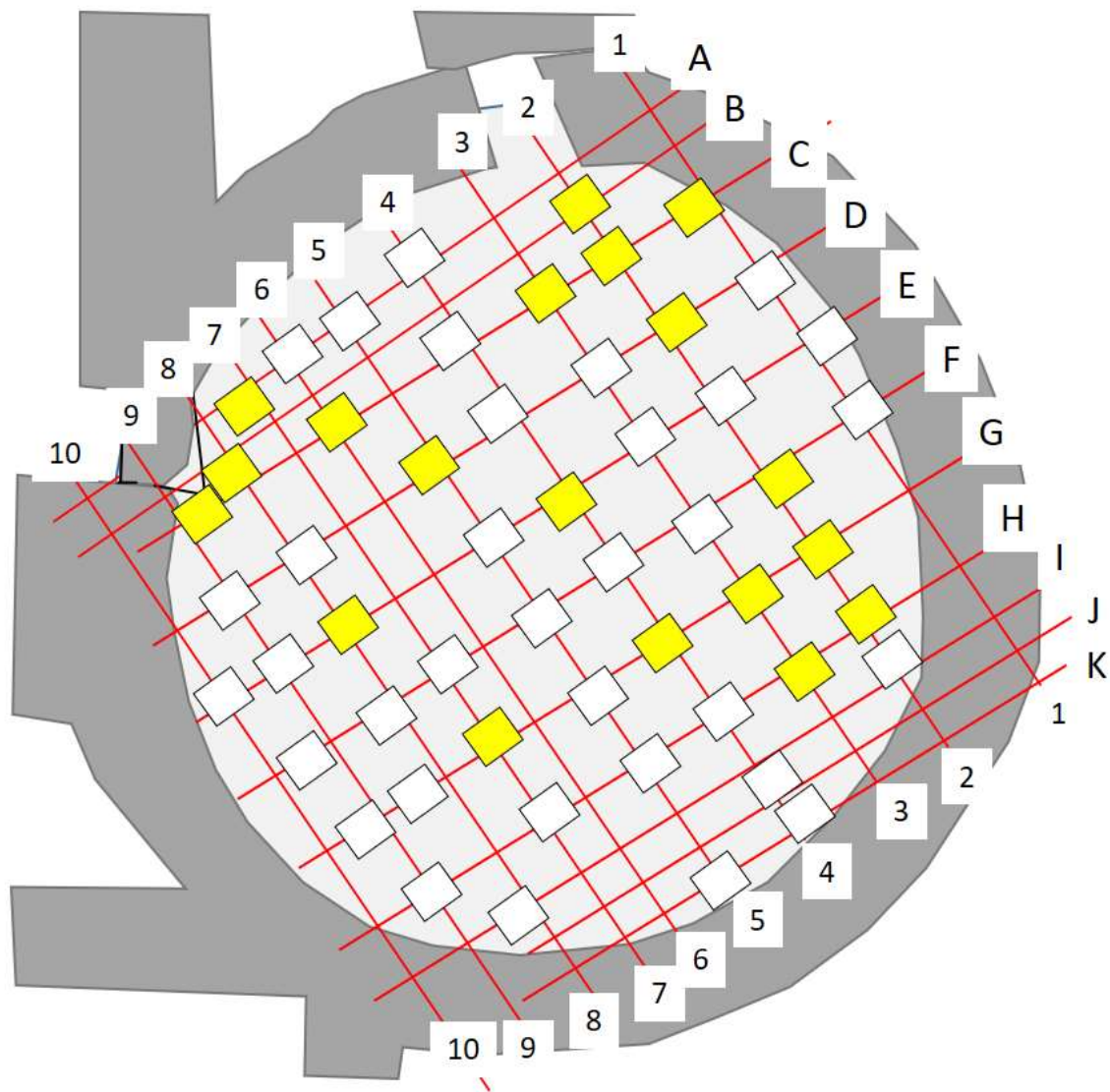
Figuur 68 Pilaartjes met bessales in ruimte 6 – sudatorium.

De vloer van het *sudatorium* bestaat uit een grijze *opus signinum* (Romeins beton). Deze vloer heeft een andere afwerking dan de vloer in het *tepidarium*.

In ruimte 6 staan pilaartjes van *bessales* die gebruikt zijn voor het hypocaust-systeem. Er is gekeken naar de samenstelling van deze tegels of *bessales* die de pilaartjes of *pilae* hebben gevormd. In totaal zijn 42 pilaartjes aanwezig geweest, waarvan er bij 16 pilaartjes aan de onderzijde van de stapel nog één of meerdere hypocausttegels met zekerheid in situ aanwezig waren. Deze 16 pilaartjes die noch in situ aanwezig zijn bevatten 22 hypocausttegels. Deze tegels betreffen allen vierkante *bessales* in baksel B (210 x 210 x 60 mm). In totaal zijn in het *sudatorium* 110 hypocausttegels aangetroffen. Van de hypocausttegels waarvan niet met zekerheid kon worden vastgesteld dat deze zich in situ bevonden bestond de overgrote meerderheid eveneens uit vierkante *bessales* in baksel B. Alle onderste tegels van een rij bestonden uit een vierkante *bessales* in baksel B. In totaal bestaat 91% van alle *bessales* (zowel in situ als ex situ) uit het *sudatorium* uit vierkante *bessales* in baksel B. Daarnaast komen twee vierkante exemplaren voor in baksel C, één in baksel D en één in baksel G. Tevens is één stuk zandsteen gebruikt en een *tegula* in baksel A.



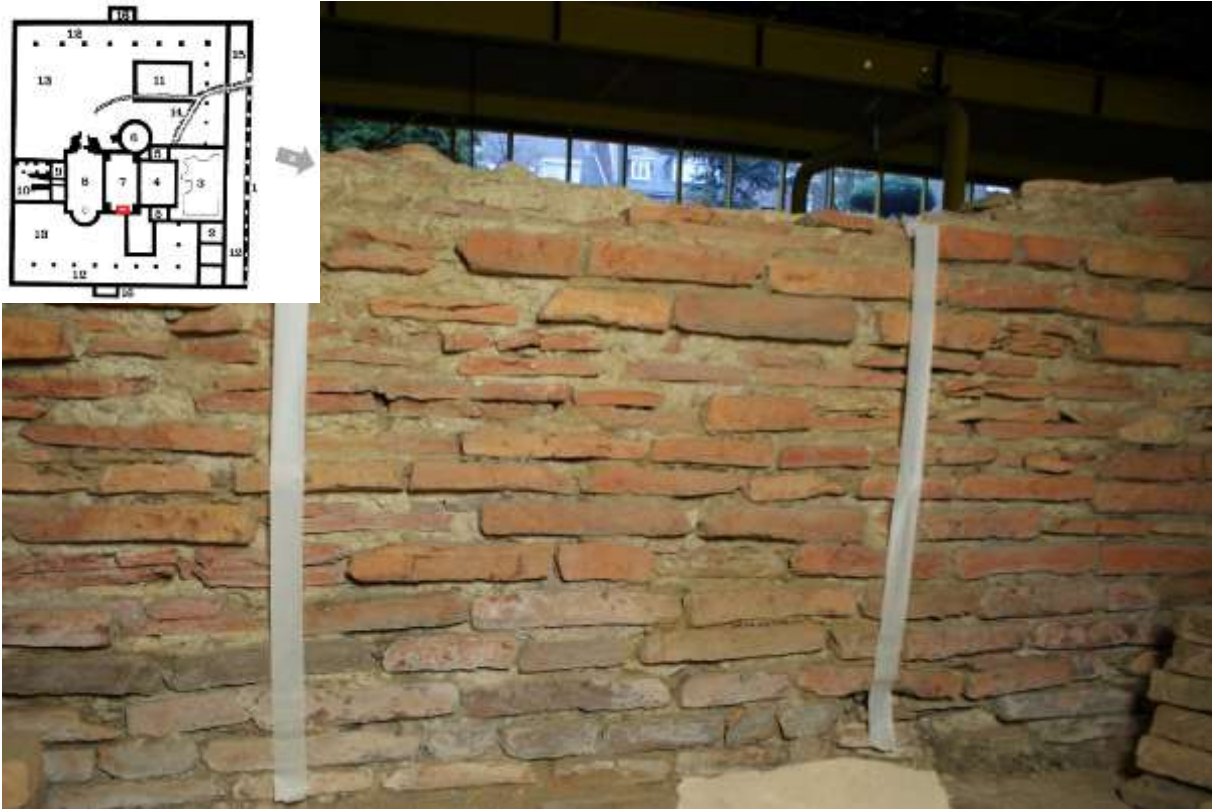
Figuur 69 Bessales in ruimte 6 – sudatorium.



Figuur 70 Pilae van keramisch bouw materiaal in sudatorium – ruimte 6, in geel de bessales (vierkante bessales in baksel B) die nog in situ aanwezig waren.

8.1.7 Ruimte 7 (tepidarium)

Ruimte 7 betreft een rechthoekige ruimte die als *tepidarium* wordt bestempeld. De funderingsmuren zijn opgebouwd van *tegulae* die met de flens naar voren zijn gericht. Daarachter is een vulling van bouwpuin gebruikt. Van de muur zijn vier kolommen onderzocht (zie Bijlage 1). De onderste twee tot vier lagen van de funderingsmuren bestaan hoofdzakelijk uit *tegulae* in baksel B (B1 en B2). Daarboven bevinden zich lagen met een mengeling van baksel B, C, D en G. Sporadisch komt een fragment van een donker A-baksel voor. De funderingsmuren zijn hiermee geassocieerd als patroon 4, het zuidelijke deel van de westmuur als patroon 2.



Figuur 71 Muur van keramisch bouw materiaal in tepidarium, oostmuur – ruimte 7.



Figuur 72 Muur van keramisch bouw materiaal in tepidarium, noordmuur – ruimte 7.



Figuur 73 Muur van keramisch bouw materiaal in tepidarium, westmuur – ruimte 7.



Figuur 74 Muur van keramisch bouw materiaal in tepidarium, westmuur – ruimte 7.

De vloer van het *tepidarium* bestaat uit een grijze *opus signinum* (Romeins beton). Bij de bestudering van de pilaartjes bleek dat er indrukken op de *opus signinum* vloer aanwezig zijn die niet overeenkomen met de plaatsing van de pilaartjes.

In de ruimte die als *tepidarium* wordt beschreven is gekeken naar de samenstelling van de *bessales* die de pilaartjes of *pilae* hebben gevormd van het hypocaustsysteem. In totaal zijn 114 pilaartjes aanwezig geweest. Van deze pilaartjes is van geen enkele vastgesteld dat deze zich geheel of gedeeltelijk nog in situ bevonden. Bij bestudering van de opbouw van deze pilaartjes is gebleken dat de onderste tegel van 99 van deze pilaartjes (86,8% van N) uit een vierkante *bessales* in baksel B bestond. In totaal bestaat 78% van alle *bessales* (alle ex situ) uit het *tepidarium* uit vierkante *bessales* in baksel B. Daarnaast komen vierkante *bessales* voor in baksel A (8 stuks); C (9 stuks); D (30 stuks) en G (13 stuks). In het *tepidarium* komt ook een aantal ronde *bessales* voor in baksel A (1 stuk); B (5 stuks); C (1 stuk); D (10 stuks); G (4 stuks). Tot slot zijn een aantal fragmenten van *bipedales* gebruikt in de opbouw van de *pilae*: baksel B(2 stuks); D(1 stuk); G(4 stuks).

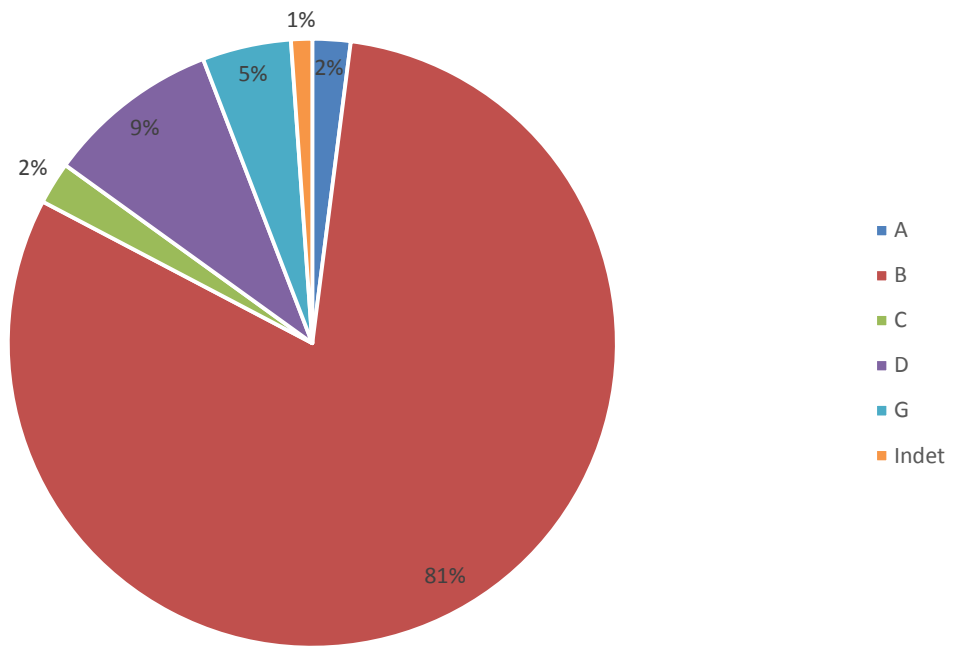


Figuur 75 Pilae van keramisch bouw materiaal in tepidarium, voor de schoonmaak – ruimte 7, duidelijk zichtbaar de afdrucken waar vroeger stapeltjes hebben gestaan.

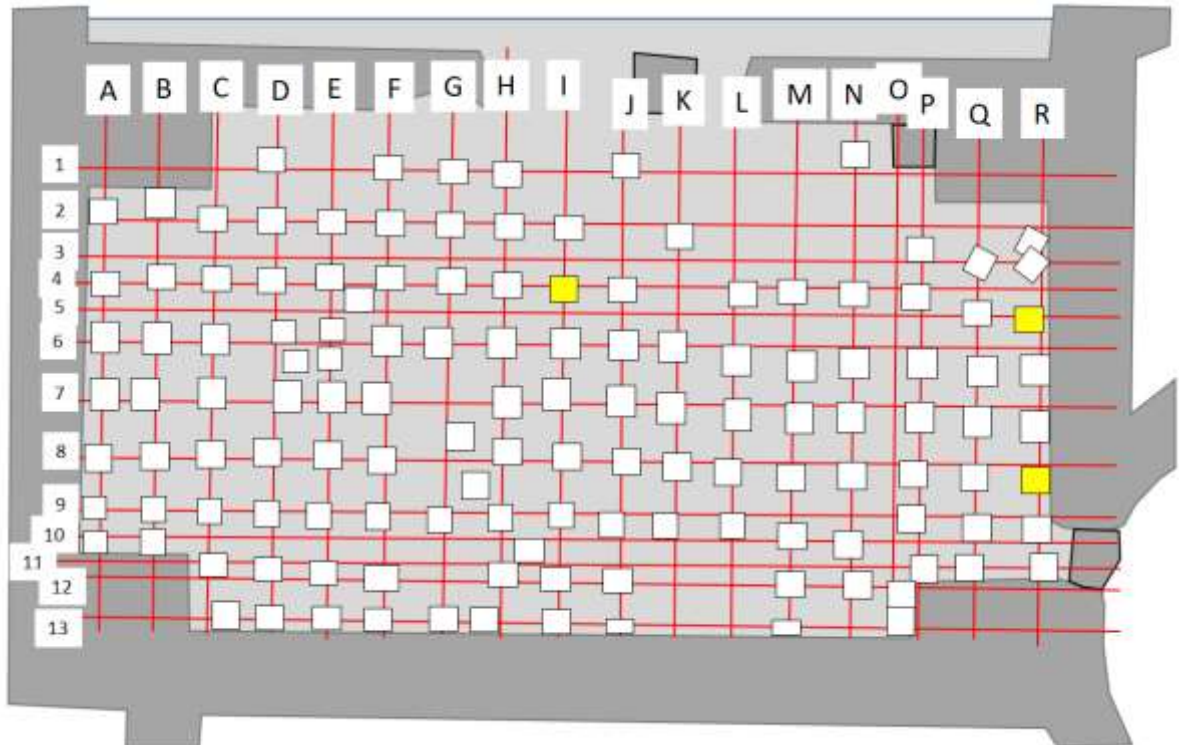


Figuur 76 Pilae van keramisch bouw materiaal in tepidarium, na de schoonmaak – ruimte 7, duidelijk zichtbaar de afdrucken waar vroeger stapeltjes hebben gestaan.

Baksels bessales in tepidarium (percentage N, totaal 445)



Figuur 77 Bessales in ruimte 7 – tepidarium.



Figuur 78 Pilae van keramisch bouw materiaal in tepidarium – ruimte 7, in geel de bessales (vierkante bessales in baksel B) die nog in situ aanwezig waren.



Figuur 79 Dichtzetting van een van de boogjes tussen tepidarium en caldarium, gezien vanuit het tepidarium – ruimte 7.

De doorgangen in het hypocaust-systeem tussen het *caldarium* en het *tepidarium* zijn op een gegeven moment dicht gemaakt. Hiervoor zijn met name vierkante *bessales* gebruikt (zie Figuur 88). Bij de bestudering van de dichtzetting van één van de boogjes tussen het *tepidarium* en het *caldarium*, blijkt dat het materiaal dat zich hierin bevindt grotendeels bestaat uit vierkante *bessales* in baksel B. Daarnaast komt een enkele vierkante *bessales* voor in baksel D, een fragment van een *pedalis* of *bipedales* in baksel D en een fragment natuursteen. De dichtzetting is geconstrueerd met roze mortel. In de collectie van het ex situ materiaal zijn twee vierkante *bessales* met het stempel van L.XXXVV die uit één van deze dichtzettingen van boogjes zouden komen. Deze *bessales* zijn echter uitgevoerd in bakselgroep A en vertonen geen enkele overeenkomst met het materiaal dat zich nog in situ bevindt.

8.1.8 Ruimte 8 (caldarium)

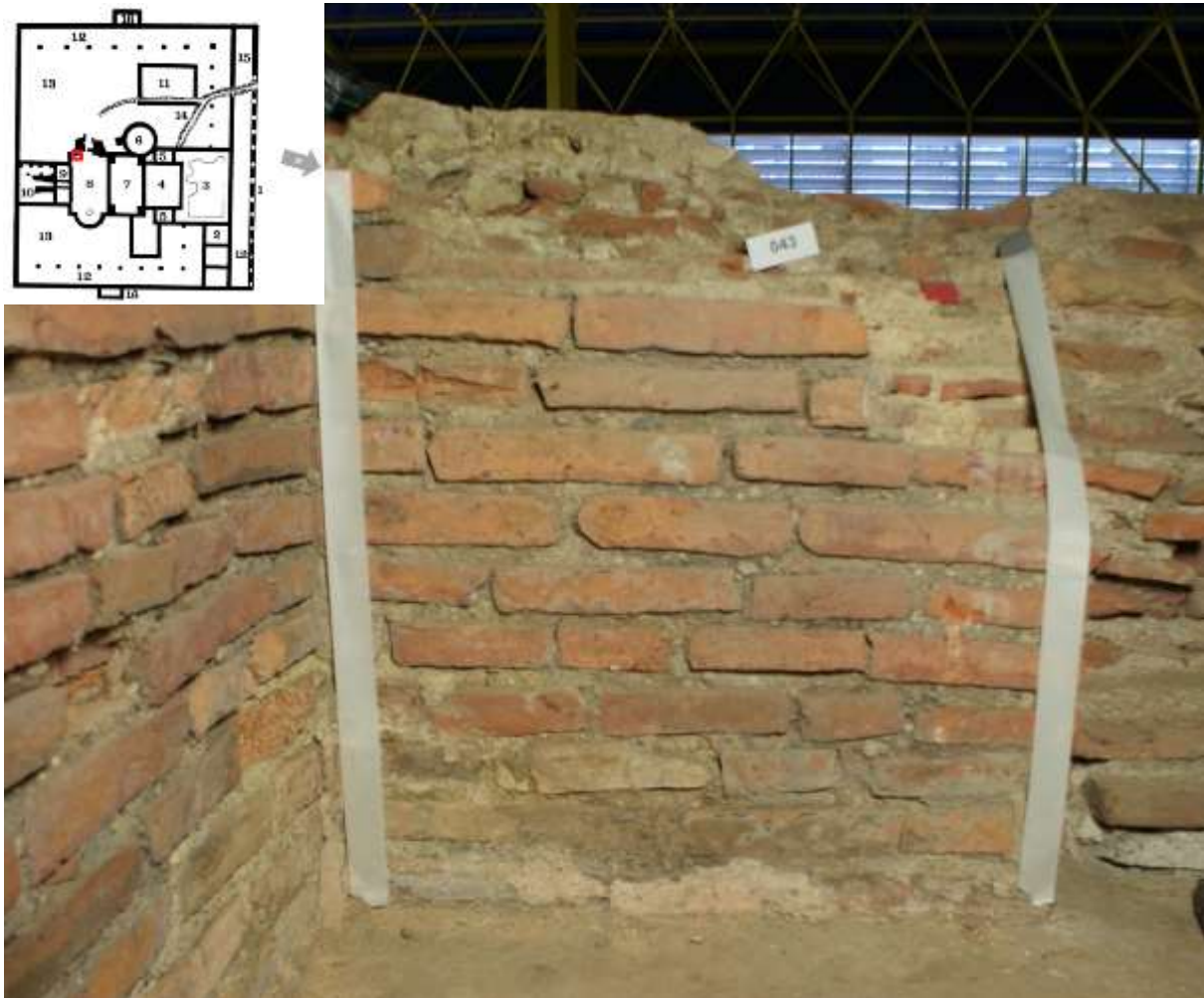
Ruimte 8 betreft een rechthoekige ruimte met twee absissen die grenst aan de stookmond of *praefurnium* en derhalve geïnterpreteerd dient te worden als *caldarium*. Het keramisch bouwmaterial in het *praefurnium* is als gevolg van de veelvuldige verhitting volledig verweerd geraakt. In het westelijke *absis* van het *caldarium* is een tweede stookmond gebouwd.

De funderingsmuren van ruimte 8 zijn grotendeels opgebouwd van *tegulae* die met de flens naar voren zijn gericht. Van de muur zijn vijf kolommen onderzocht (zie Bijlage 1). Van het oostelijk *absis* bestaan

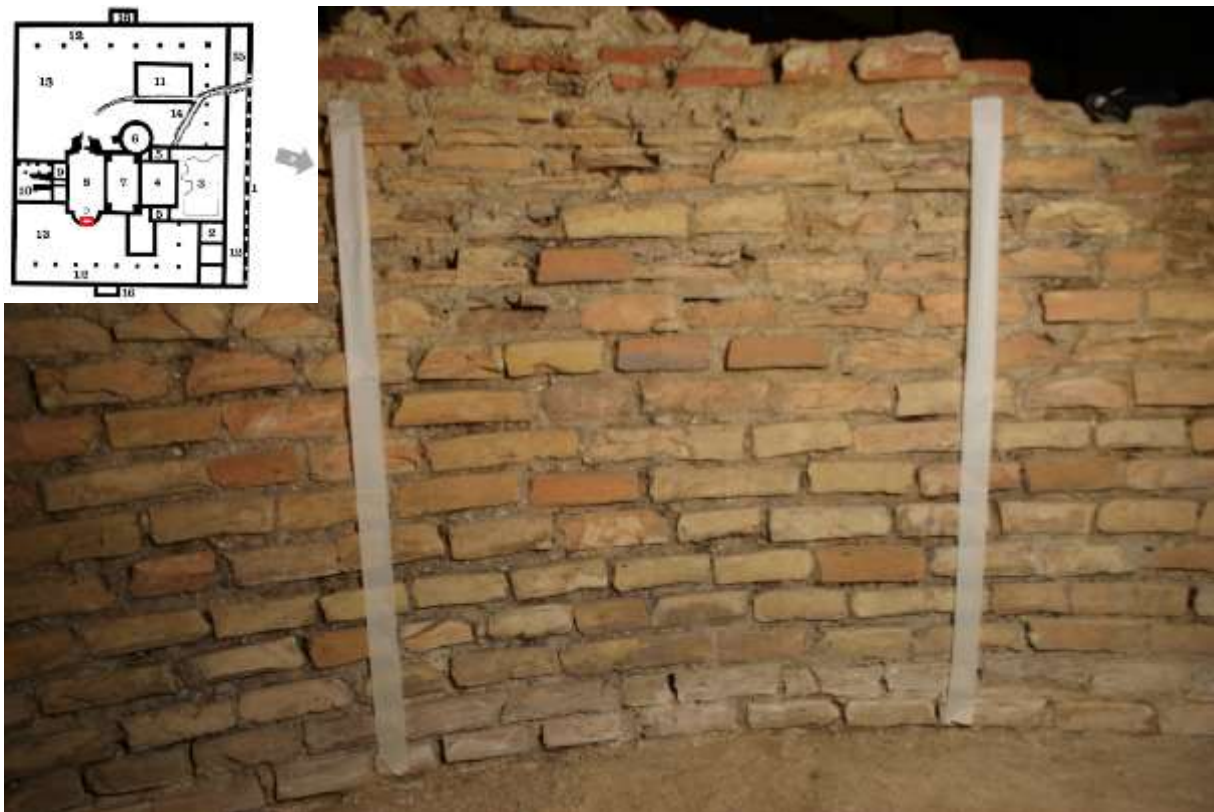
de onderste 15 rijen uitsluitend uit *tegulae* in baksel B (B1 en B2). Daarboven bevindt zich vanaf vloerniveau één laag met *tegulae* in baksel D. Deze funderingsmuur is getypeerd als patroon 1.

Van het westelijke *absis*, de noordmuur en de zuidoost muur van het *caldarium* bestaan de onderste drie tot vier lagen van de funderingsmuren bestaan hoofdzakelijk uit *tegulae* in baksel B (B1 en B2). Daarboven bevinden zich lagen met een mengeling van baksel B, C, D en G. Sporadisch komt een fragment van een donker A-baksel voor. De funderingsmuren zijn hiermee geassocieerd als patroon 2 en 4.

De zuidelijke muur betreft een dichtzetting tussen *caldarium* en *alveus*. Opvallend is dat de binnenzijde (*caldarium* zijde) van deze muur bekleed is met *lateres* in baksel A, B, C, D, G en E.



Figuur 80 Muur van keramisch bouwmetaal in caldarium, westmuur – ruimte 8.



Figuur 81 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, oostelijke absidale muur – ruimte 8.



Figuur 82 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, oostelijke absidale muur – ruimte 8.



Figuur 83 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, zuidelijke muur – ruimte 8.



Figuur 84 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, zuidelijke dichtzettingmuur – ruimte 8.



Figuur 85 Muur van keramisch bouw materiaal in westelijke absis caldarium – ruimte 8.

De vloer in het *caldarium* is opgebouwd uit *bipedales*, grote vierkante tegels. Het merendeel van deze *bipedales* betreft tegels van 600 x 600 mm in baksel B. Het *caldarium* en de *alveus* waren aanvankelijk aaneengesloten ruimtes, hetgeen te zien is aan de *bipedales* die doorlopen onder de dichtzetting door. Het merendeel van de *bipedales* hebben vijf kleine taps toelopende gaatjes die zijn aangebracht voor dat de *lateres* zijn gebakken (opbolling van de natte klei). Bij een aantal *bipedales* die ondersteboven liggen ontbreken deze gaatjes, tevens is zichtbaar dat de gaatjes niet altijd volledig door de later zijn gegaan. Ook in Vindolanda (Birley 2001, 47), Holt en Chester zijn *bipedales* met deze gaatjes aangetroffen (Brodribb 1987, 42). Volgens Brodribb is de functie van deze gaatjes niet om stoom door te laten naar de ruimte boven de *suspensura*. Enerzijds is dit niet mogelijk omdat de tegels afgedekt waren met een dikke laag mortel, anderzijds was dit helemaal niet wenselijk (Brodribb 1987, 42). De gaatjes kunnen het best geïnterpreteerd worden als onderdeel van het productieproces.

In de oostelijke *absis* van het *caldarium* ontbreekt een deel van de vloer, tevens zijn dicht bij de muur fragmenten in een onregelmatig patroon geplaatst. Op één van de *bipedales* is een rechthoekige indruk aanwezig die mogelijk de cartouche van een stempel betreft.

Behalve *bipedales* in baksel B komen *bipedales* voor in twee andere baksels (het baksel hiervan kon niet worden vastgesteld, aangezien deze niet zijn bemonsterd). Deze *bipedales* wijzen op een reparatie of verbouwing in het centrale deel van het *caldarium*. Deze *bipedales* liggen min of meer noord-zuid in het verlengde van het stookkanaal van *praefurnium* 1. Het ene type andere *bipedales* hebben acht

grotere taps toelopende gaten en meten 55 x 55 cm. De andere *bipedales* hebben 5 kleine gaatjes die zich in het midden van de later bevinden en meten 57 x 57 cm (zie Figuur 19) .

Aan de westzijde van het *caldarium* is in de vloer een cirkelvormige constructie aangetroffen van *lateres* in baksel B. De *lateres* betreffen fragmenten van *bipedales* die aan de buitenzijde zijn bekapt. De binnenzijde van de cirkel is opgevuld met mortel. Deze cirkel lijkt onderdeel te zijn met de aankleding van de ruimte met de vloer van *bipedales* in baksel B. De functie van de cirkel is vooralsnog geïnterpreteerd als fundering voor een rond (was)bekken, het zogenaamde *labrum*.



Figuur 86 Vloer van keramisch bouw materiaal in oostelijke absis caldarium – ruimte 8.

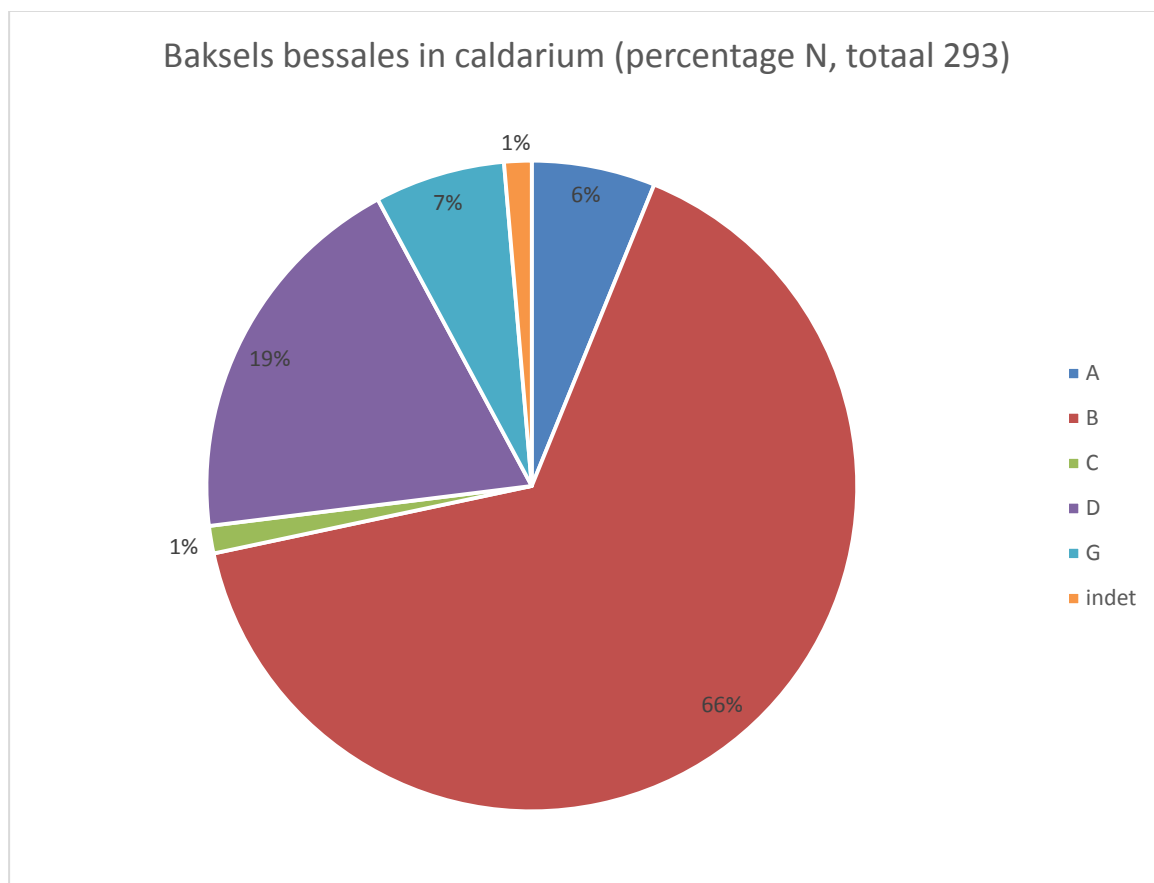


Figuur 87 Vloer van keramisch bouwmetaal in caldarium – ruimte 8.



Figuur 88 Vloer van keramisch bouw materiaal in caldarium – ruimte 8, verschillende gatenpatronen.

In de ruimte die als *caldarium* wordt beschreven is gekeken naar de samenstelling van de *bessales* die de pilaartjes of *pilae* hebben gevormd van het hypocaust-systeem. In totaal zijn 91 pilaartjes aanwezig geweest. Helaas is van geen van deze pilaartjes kunnen vaststellen dat deze zich geheel of gedeeltelijk nog in situ bevonden. Bij bestudering van de opbouw van deze pilaartjes is gebleken dat de onderste tegel van 63 van deze pilaartjes (69,2 % van N) uit een vierkante *bessales* in baksel B bestond. In totaal bestaat 59% van alle *bessales* (alle ex situ) uit het *caldarium* uit vierkante *bessales* in baksel B. Daarnaast komen vierkante *bessales* voor in baksel A (2 stuks); C (4 stuks); D (34 stuks) en G (15 stuks). In het *caldarium* komt ook een aantal ronde *bessales* voor in baksel A (13 stuks); B (8 stuks); D (20 stuks); en G (3 stuks). Behalve *bessales* komen een aantal *pedales* voor in baksel D (1 stuk) en G (1 stuk). Tot slot zijn een aantal fragmenten van *bipedales* gebruikt in de opbouw van de *pilae*: baksel A (3 stuks); D(1 stuk). Ook zijn een aantal *sesquipedales* in baksel A aangetroffen. Concluderend valt op dat de diversiteit aan *bessales* in deze ruimte groot is, terwijl van geen *bessalis* kon worden vastgesteld dat deze zich nog in situ bevindt.



Figuur 89 Bessales in ruimte 8 – caldarium.

Aan de oostzijde van het *caldarium* is een tweede *praefurnium* gebouwd. Dit *praefurnium* ziet er rommelig uit en lijkt op het eerste gezicht uit een allegaar aan gefragmenteerd (hergebruikt?) materiaal

te bestaan. Bij nadere bestudering van de stookmond is gebleken dat de onderzijde van deze stookmond is opgebouwd met vierkante *bessales* in baksel B. Daarboven zijn *pedales* en *bipedales* gebruikt in baksel D en G. Aan de buitenzijde van de stookmond is deze opgebouwd uit een grotere diversiteit aan materiaal.

8.1.9 Ruimte 9 (*alveus*)

Ruimte 9 betreft een rechthoekige ruimte, die ook wel als *alveus* wordt bestempeld. Oorspronkelijk vormden ruimte 8 en ruimte 9 één ruimte, waarbij ruimte 9 een nis van ruimte 8 was (zie beschrijving hierboven). Dat ruimte 8 en 9 oorspronkelijk één ruimte was is te zien aan de vloer van *bipedales* in baksel B die vanuit ruimte 8 doorloopt naar baksel D. Ruimte 9 werd ondergronds in tweeën verdeeld door het stookkanaal die vanaf *praefurnium* 1 hier middendoor liep. De funderingsmuren van ruimte 9 zijn grotendeels opgebouwd van *tegulae* die met de flens naar voren zijn gericht. Van de muur is één kolom onderzocht (zie Bijlage 1). Van de onderzochte kolom in de westmuur van het *alveus* bestaan de onderste vier rijen uitsluitend uit *tegulae* in baksel B (B1 en B2). Daarboven bevindt zich lagen met een mengeling van baksel C en D. De funderingsmuren zijn hiermee geclassificeerd als patroon 4.

Het middendeel van de zuidmuur van het *alveus* lijkt later te zijn uitgebroken dan het overige deel van de muur. Dit deel van de muur lijkt veel meer baksel B te bevatten, maar doordat het materiaal grotendeels verweerd is (mogelijk als gevolg van verhitting), is niet van alle stukken het baksel met zekerheid vast te stellen.

De westelijke muur van het *alveus* heeft een opvallende reparatie van mortel gemengd met fragmenten keramisch bouw materiaal.



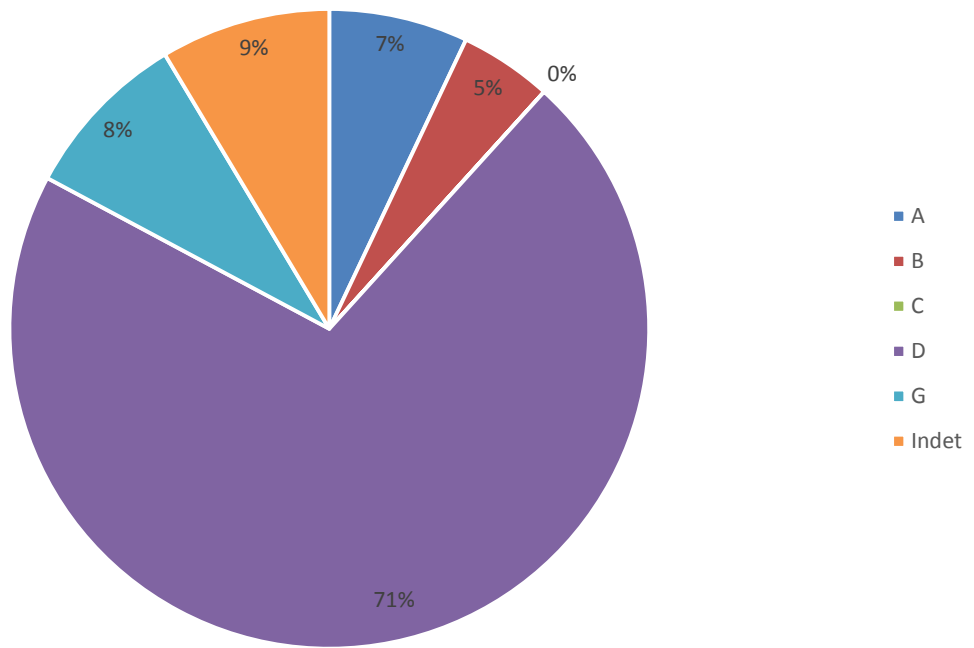
Figuur 90 Westmuur van keramisch bouwmetaal in alveus - ruimte 9.



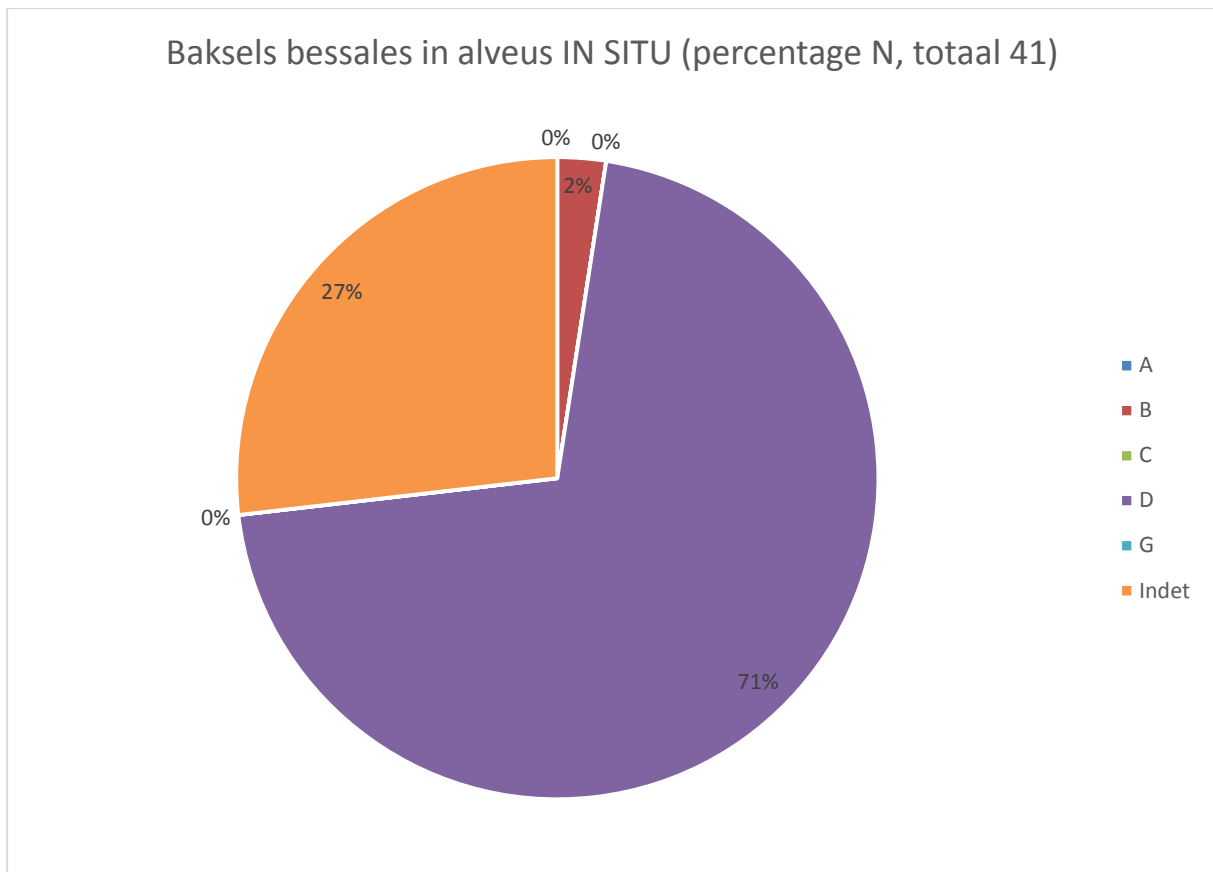
Figuur 91 Zuidmuur van keramisch bouwmetaal in alveus – ruimte 9.

In de ruimte die als *alveus* wordt beschreven is gekeken naar de samenstelling van de *bessales* die de pilaartjes of *pilae* hebben gevormd van het hypocaust-systeem. In totaal zijn dertig pilaartjes aanwezig geweest, waarvan erbij dertien pilaartjes nog één of meerdere hypocaust-tegels met zekerheid in situ aanwezig waren. Deze 13 pilaartjes bevatten 41 hypocausttegels, voornamelijk vierkante *bessales* in baksel D (N=25; 61,0%). De overige *bessales* betreffen een vierkante *bessales* in baksel A of G, één vierkante *bessales* in baksel B en vier ronde *bessales* in baksel D. Van 10 vierkante *bessales* kon het baksel door verwerking niet worden vastgesteld. In totaal zijn in het *alveus* 128 hypocausttegels aangetroffen. Van de hypocausttegels waarvan niet met zekerheid kon worden vastgesteld dat deze zich in situ bevonden, bestond de overgrote meerderheid eveneens uit vierkante *bessales* in baksel D. Van de onderste tegels van een rij bestonden eveneens de meerderheid uit een vierkante *bessales* in baksel D (63,3%). In totaal bestaat 59,4% van alle *bessales* (zowel in situ als ex situ) uit het *alveus* uit vierkante *bessales* in baksel D. Daarnaast komen zes vierkante exemplaren voor in baksel A, zes in baksel B en elf in baksel G. Tevens zijn drie ronde *bessales* in baksel A aangetroffen, tien ronde *bessales* in baksel D en vijf stukken van *bipedales* in baksel D. Tot slot zijn er elf vierkante *bessales* aangetroffen waarvan door de verwerking geen baksel kon worden vastgesteld. Daarmee bestaat ten minste 71,1 % van het metaal in de *pilae* van het *alveus* uit bouwmetaal in baksel D. Opvallend zijn de grote hoeveelheid ronde *bessales* die in deze ruimte zijn aangetroffen en het onregelmatige patroon van de *pilae*.

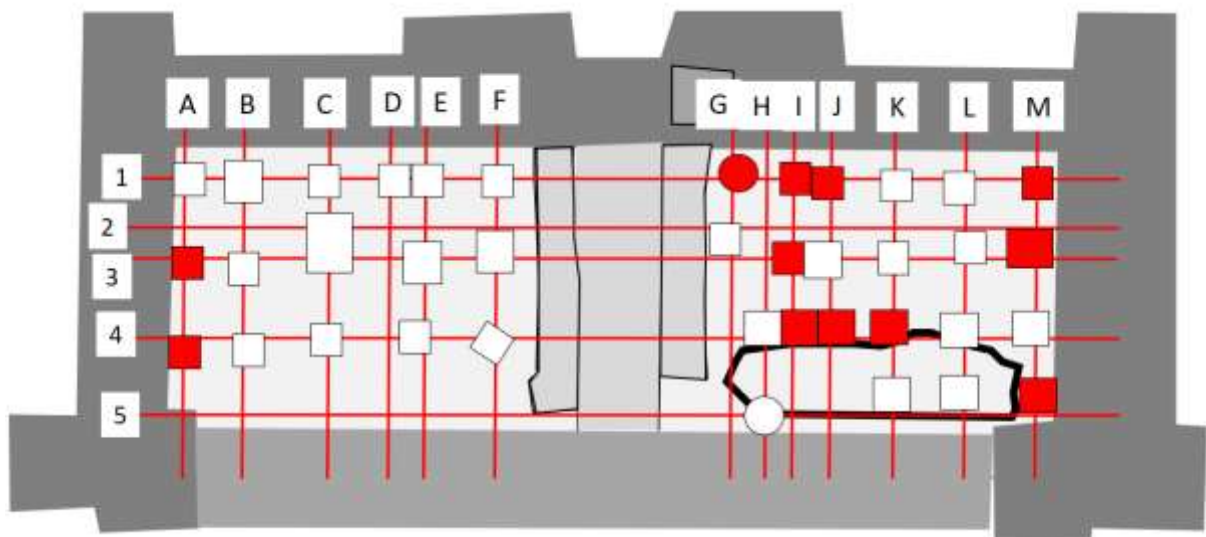
Baksels bessales in alveus (percentage N, totaal 128)



Figuur 92 Bessales in ruimte 9 – alveus.



Figuur 93 Bessales in situ in ruimte 9 – alveus.



Figuur 94 Pilae van keramisch bouw materiaal in ruimte 9 – alveus, in rood de bessales die nog in situ aanwezig waren.

8.1.10 Ruimte 10 (praefurnium 1)

In *praefurnium 1* is een vloer aangebracht van verticaal geplaatste *tegulae* (zie Figuur 113). Een deel is recht, parallel aan elkaar, geplaatst en een deel in visgraatmotief. De *tegulae* zijn sterk verbrand en door de hitte in de stookgang verweerd. Derhalve is het baksel van deze *tegulae* niet meer te achterhalen.



Figuur 95 Stookgang van praefurnium 1 – ruimte 10, gezien vanuit het noorden (ruimte 9 – alvers).



Figuur 96 Stookgang van praefurnium 1 – ruimte 10, verticaal in de bodem geplaatste tegelde die danwel haaks, of in visgraatpatroon zijn geplaatst.

8.1.11 Ruimte 11 (*natatio*)

Ruimte 11 wordt als een buitenzwembad of *natatio* bestempeld (Van Giffen & Glasbergen 1948, 208). Langs de oostmuur van deze ruimte loopt binnenlangs een afvoergoot die begint ter hoogte van *praefurnium II* en verder doorloopt in noordelijke richting om uit te komen op een dieper gelegen afvoerkanaal, ruimte 14. De goot lijkt geen relatie te hebben met de ruimte 11. In de goot zijn *tegulae* geplaatst waarvan de flenzen zijn afgehakt (zie Figuur 115). De samenstelling van het materiaal is heterogeen, de baksels die voorkomen zijn A, B en D. Opvallend is het grote aantal *tegulae* die van een zeer wit baksel B zijn en een donkerrode deklaag hebben gekregen. Vergelijkbaar materiaal komt elders in het badhuis niet voor, behalve in *praefurnium III*. De goot heeft geen relatie tot de ruimte 11 maar is door de fundamenten hiervan heen gebroken. De afwerking van de goot wordt gekenmerkt door een roze mortel, de muren van ruimte 11 hebben een grijs gele mortel.



Figuur 97 Goot bekleed met *tegulae* – ruimte 11.



Figuur 98 Goot bekleed met *tegulae* – ruimte 11, bleek baksel met rode deklaag.

In ruimte 11 zelf is geen keramisch bouw materiaal aangetroffen.

8.1.12 Ruimte 12 (*oostelijke en westelijke porticus*)

De oostelijke *porticus* bestaat uit natuurstenen pilaren op een laag met o.a. keramisch bouwpuin en aardewerk. Daaronder bevindt zich een oudere fase met natuurstenenfundering (zie Figuur 99, Figuur 100 en Figuur 116). Tijdens de QuickScan is besloten om het keramisch bouw materiaal dat zich hier

nog in situ bevindt niet in detail te onderzoeken aangezien het hier om puinlagen (gefragmenteerd materiaal) gaat.



Figuur 99 Westelijke zuilenrij met puinlagen van keramisch bouwmetaal – ruimte 13.



Figuur 100 Westelijke zuilenrij met puinlagen van keramisch bouwmetaal – ruimte 13.

8.1.13 Ruimte 13 (palaestra)

Ruimte 13 is geïnterpreteerd als de binnenhof of de zogenaamde palaestra. In deze ruimte is geen keramisch bouwmetaal aangetroffen.

8.1.14 Ruimte 14 (afvoergoot)

Ruimte 14 betreft een afvoergoot die onder het *frigidarium* ligt en afwatert in noordelijke richting en daarbij de noordelijke buitenmuur doorsnijdt. Op de afvoergoot watert de goot langs de binnenmuur van ruimte 11 vanuit zuidelijke richting af. De goot bestaat uit een homogene groep complete *tegulae*

(met flens). Onder het *frigidarium* konden de *tegulae* bekeken worden door de kijkgaten die tijdens de opgraving zijn aangebracht. Door de sterke verwerking van de *tegulae* als gevolg van de invloed van vocht/water is niet met zekerheid een baksel vast te stellen (mogelijk B of D), wel is duidelijk op basis van de vorm, maatvoering en afwerking dat het een homogene groep betreft. Typerend is de aanwezigheid van onderaan elke *tegula* dezelfde kleine ronde indruk. Deze indrukken wijzen mogelijk op het gebruik van *spacers* (droog- of bakhulpen) bij de productie. Aan de westzijde van het *frigidarium* is de goot van *tegulae* overbouwd door een goot van natuursteen. Op Figuur 103 en Figuur 104 is duidelijk te zien dat de goot van *tegulae* op een lager gelegen niveau is aangelegd. Vanaf het deel dat met natuursteen is bekleed geteld liggen er in noordelijke richting 11 *tegulae* (mogelijk baksel B met rode deklaag, overhangend rand type). Vervolgens doorsnijdt de goot de buitenmuur, waarbij de as van het kanaal een verschuiving laat zien. De zes *tegulae* die voorbij de muur liggen zijn homogene *tegulae* met op elke *tegula* onderaan dezelfde kleine ronde indruk (deze zijn overigens door de schoonmaak/restauratie gedeeltelijk verdwenen).



Figuur 101 Links: Goot bekleed met tegulae in kijkgat frigidarium – ruimte 14. Rechts: detail.



Figuur 102 Links: Goot bekleed met tegulae in kijkgat frigidarium – ruimte 14. Rechts: ronde indruk op de tegula.



Figuur 103 Goot onder bekleed met tegulae en boven bekleed met natuursteen – ruimte 14.



Figuur 104 Links: Goot bekleed met tegulae en daarboven natuursteen – ruimte 14. Rechts: signatuur op de tegula (6-vormig).



Figuur 105 Links: Goot bekleed met tegulae door buitenmuur – ruimte 14. Duidelijk zichtbare as verschuiving; rechts: bekleding meest noordelijke deel van goot – ruimte 14.



Figuur 106 Links: Goot bekleed met tegulae door buitenmuur – ruimte 14. Duidelijk zichtbare asverschuiving; rechts: bekleding meest noordelijke deel van goot – ruimte 14.

8.1.15 Ruimte 15 (noordelijke porticus)

In het noordelijke deel van de *porticus* is geen keramisch bouw materiaal aangetroffen.

8.1.16 Ruimte 16 (exedra/opvangbekkens?)

In ruimte 16 is geen keramisch bouw materiaal aangetroffen. Hoewel in het westelijke ruimte 16 wel een concentratie van keramisch bouw materiaal is aangetroffen, lijkt dit geen onderdeel te zijn van de oorspronkelijke structuur, maar een latere verstoring.

9.1 Inleiding

Het doel van voorliggend onderzoek is het beschrijven van alle aanwezige baksels van keramisch bouwmetaal, typen keramisch bouwmetaal en hun vorm en het voorkomen van deze objecten per ruimte in het badhuis. Deze informatie dient als bouwstenen voor het bouwhistorisch onderzoek.

Bij het onderzoek is gekeken naar vier verschillende contexten, die in vier verschillende datasets zijn geregistreerd: metaal uit de museumcollectie van het thermenterrein, ex-situ metaal, metaal uit de opgravingen 2017/2018 en in-situ metaal. Het metaal uit de verschillende contexten is op verschillende wijze verzameld, ontsloten en gedocumenteerd, hetgeen ertoe heeft geleid dat vergelijking tussen de datasets niet op alle aspecten mogelijk is.

Het onderzoek naar het keramisch bouwmetaal heeft nieuwe data en daarmee nieuwe informatie opgeleverd. Het onderzoek heeft echter ook nieuwe vragen naar voren gebracht. In dit hoofdstuk wordt allereerst getracht om een antwoord te geven op de gestelde onderzoeksvragen, daarna zullen de conclusies en nieuwe inzichten uit het onderzoek worden weer gegeven.

9.2 Beantwoording onderzoeksvragen

1. Wat is de technologische diversiteit van het metaal?

Uit het onderzoek naar de aanwezige baksels van keramisch bouwmetaal en de vormen en maten waarin deze objecten zijn vervaardigd, blijkt een grote diversiteit. In totaal zijn 25 baksels aangetroffen die macroscopisch zijn ingedeeld in acht verschillende bakselgroepen (heterogeen). Deze acht bakselgroepen zijn uit drie verschillende soorten kleien vervaardigd. Bakselgroep A is hoogstwaarschijnlijk gevormd uit het laagpakket van Reuver (Formatie van Waalre). Bakselgroep B is waarschijnlijk afkomstig uit het laagpakket van Brunssum (Kiezeloöliet formatie). De derde groep betreft de overige bakselgroepen, C, D, F, G en H die hoogstwaarschijnlijk gemaakt zijn uit klei uit het laagpakket van Tegelen (Formatie van Waalre), de baksels zijn chemisch van elkaar te onderscheiden op basis van de wisselende illiet en ijzer gehalten.

Er dient een duidelijk onderscheid te worden gemaakt tussen in-situ metaal en ex-situ metaal.

Van het metaal dat zich nog in situ bevindt, bestaat de meerderheid uit stukken die zijn uitgevoerd in de bakselgroepen B, D en G. Baksel B is een opvallen bleek baksel waaruit een groot deel van de *tegulae* bestaat die gebruikt zijn voor de opbouw van de funderingsmuren. Niet alleen betreft het een belangrijk aandeel hiervan, maar voor alle ruimtes geldt dat de onderste lagen van de fundering uit *tegulae* van dit baksel bestaan. In de opbouw van de funderingsmuren komen behalve het dominante baksel B ook andere baksels voor. Het is mogelijk dat het hier gaat om primair gebruik van verschillende soorten dakpannen. Daarnaast is metaal in bakselgroep B voor meerdere complete aankledingen gebruikt zoals de funderingsvloer van *bipedales* in het *caldarium* en *alveus* en de

bessales in *tepidarium* en *sudatorium*. Hoewel het baksel van de *tegula* goot onder het *frigidarium* door verwerking moeilijk is vast te stellen, lijkt ook deze te zijn geproduceerd in baksel B.

Voor zover bovengrondse vloeren van het badgebouw bewaard zijn gebleven (apodyterium en *frigidarium*) zijn geen complete aankledingen met baksel B aanwezig. Er zijn meerdere toepassingen van complete aankledingen die niet in baksel B zijn uitgevoerd. Het gaat hierbij om de *bessales* in baksel D in het *alveus* en *caldarium* en de *spicatum* vloeren in baksel G in het *apodyterium* en het westelijke *frigidarium* bad en de *bipedales* in baksel D in het oostelijke *frigidarium* bad. Daarnaast is er een laag *tegulae* in de absidale ruimte van het *caldarium* waar baksel D vanaf vloerniveau op baksel B ligt. Duidelijk is dat gelijktijdig verschillende baksels voorkomen.

Keramisch bouwmetaal dat bestaat uit de bakselgroepen C, E, F en H is slechts in beperkte mate in situ aangetroffen en in geen geval in complete aankledingen (vloeren, muren, pilaren) van het badgebouw.

In situ zijn uitsluitend delen van dakbedekking en tegels aangetroffen: *tegulae*, enkele *imbrices*, *bessales*, *pedales*, *bipedales*, *opus spicatum lateres* en *lydia*. Overige vormen zoals *tubi*, *tubuli*, half-tile boxes en *tegulae hamatae*. In-situ ontbreken aanwijzingen met betrekking tot de bovenbouw van het badhuis.

Binnen het metaal dat zich ex-situ bevindt komen ook de bakselgroepen B, D en G voor, maar domineert metaal in bakselgroep A. Behalve (enkele tegels van) de vloer van *lydia* in het *frigidarium*, die zeker geen eerste fase van aankleding betreft (aangezien deze de mozaïekvloer overlapt), komt deze bakselgroep slechts sporadisch voor in funderingsmuren van het badhuis (*tegulae*). Dit is opvallend aangezien bakselgroep A de sterkst vertegenwoordigde groep is in de museumcollectie en het ex situ metaal. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat een deel van de bovenbouw van het badhuis of het dak mogelijk uit metaal in bakselgroep A heeft bestaan. Het metaal dat ex-situ is aangetroffen vertoont een grotere diversiteit dan het metaal dat in situ is aangetroffen. Behalve delen van dakbedekking en tegels, komen *tubi*, *tubuli*, half-tile boxes en *tegulae hamatae* voor. Het ex-situ metaal is echter dermate heterogeen in baksels en vormen, dat redelijkerwijs geen koppeling te maken is met de oorspronkelijke bovenbouw. Het is zeer onzeker of al het losse metaal onderdeel is geweest van het badhuis.

2. Wat zegt het keramisch bouwmetaal over de oprichters van het badhuis?

Uit het gebruik van keramisch bouwmetaal wordt niet duidelijk wie het badhuis heeft gebouwd. De meerderheid van het bouwmetaal, in ieder geval in de funderingen, bestaat uit metaal in bakselgroep B. Dit metaal is van lokaal beschikbare klei geproduceerd en kan vooralsnog niet aan een specifieke producent worden gekoppeld. Tot op heden zijn er geen fragmenten keramisch bouwmetaal in baksel B aangetroffen (ook niet op andere vindplaatsen) die een stempel dragen. Uit een schrijfplankje in Vindolanda is gebleken dat bij de bouw van het badhuis aldaar meerdere werklui werden gestuurd, waaronder ook een aantal *tegula* makers, waaruit blijkt dat het gewoon was dat het keramisch bouwmetaal voor een groot bouwwerk zoals een badhuis ter plaatse werd gemaakt⁷⁴. Bakselgroep B is ook aangetroffen in de villa Kerkrade Holzkuil (baksel Kere 1) waarbij is

⁷⁴ Birley 2001, 11.

aangegeven dat niet alleen het baksel, maar ook de afwerking van de producten en secundaire kenmerken (zoals dierpootindrukken) erop wijzen dat dit materiaal daar geproduceerd werd door een mobiele pannenbakkerij⁷⁵ die de beschikking had over lokaal voorkomende tertiaire klei (mogelijk in een kleigroeve op de Brunssummerheide⁷⁶). Ook bij het badhuis te Heerlen is het niet ondenkbaar dat men toegang had tot tertiaire klei en dat men bij de eerste aankleding van het badhuis ter plaatse bouwmaterialen in baksel B heeft vervaardigd.

Wat betreft lay-out lijkt het badgebouw uit Heerlen op enkele andere badgebouwen uit deze regio die door het 22^{ste} legioen zijn gebouwd.⁷⁷ Derhalve is in het kader van dit onderzoek gestempeld materiaal van het 22^{ste} legioen uit Aken en Xanten bemonsterd. Zowel het macroscopische als het XRF-onderzoek heeft uitgewezen dat er geen enkele relatie is tussen dit materiaal van het 22^{ste} legioen en de in Heerlen aangetroffen baksels.

In de museumcollectie van het thermenterrein zijn enkele *bessales* in baksel A met stempel L.XXXVV aangetroffen. Dit baksel vertoont geen relatie met materiaal van het 30^{ste} legioen dat in Xanten werd geproduceerd. Materiaal van 30^{ste} legioen dat langs de limes en uit Xanten bekend is, draagt daarnaast altijd een ander stempel namelijk LEGXXXVV. In baksel A komen behalve stukken het stempel L.XXXVV ook stukken met de stempels CTEC en MHF voor. De verspreiding van materiaal in dit baksel en met deze stempels lijkt zich te concentreren in het gebied net ten westen van Heerlen in de nabijheid van de Maas. Dit impliceert dat materiaal met het stempel L.XXXVV tot een lokale productie uit de regio Heerlen behoort.

De vraag wie het badhuis initieerde kan vooralsnog niet door het keramisch bouwmaterialen beantwoord worden. Maar het is zeer duidelijk dat het badhuis is uitgevoerd met regionaal materiaal dat afkomstig kan zijn uit de Geul, uit Tegelen en uit Brunssum.

3. Wanneer is het badhuis gebouwd en verbouwd?

Vooralsnog is het niet mogelijk om de gebruikte bouwmaterialen nauwkeurig te dateren. De combinatie van baksels en vormen biedt nog onvoldoende houvast. Enerzijds omdat baksels gedurende een lange periode gebruikt kunnen zijn, anderzijds omdat de vormontwikkeling niet voldoende is gedocumenteerd (beperkingen van het onderzoek). Kijkend naar de opbouw en het voorkomen van de verschillende baksels in het badhuis zou men veronderstellen dat het materiaal in bakselgroep B tot de oudste, nu zichtbare, bouwfase van het badhuis behoort. Deze bakselgroep kan echter nog niet worden gedateerd.

Bakselgroep D en G zouden zijn mogelijk later geproduceerd. Vormen in bakselgroep D zijn op meerdere plaatsen in het badhuis namelijk een vervanging (of aanvulling) van vormen in bakselgroep B. Dit is onder ander te zien in de *pilae* van het hypocaustsysteem en de bovenbouw van de absidale ruimte van het caldarium.

⁷⁵ Kars 2005, 286.

⁷⁶ Kars 2005, 267.

⁷⁷ H. Christ, 1959: Het dateringsvraagstuk van de Romeinse thermenbouw te Heerlen, in Bulletin van de Historische kring het land van Herle, jaargang 9, nr. 6.

In bakselgroep A komen stempels voor van CTEC, MHF en LXXXVV. De productie van CTEC en MHF worden vooralsnog gedateerd in de late 2^{de} en vroege 3^{de} eeuw na Chr. De gestempelde stukken van L.XXXVV kunnen na 120 na Chr. worden gedateerd tot in de 3^{de} eeuw na Chr. Of de gestempelde stukken met het stempel L.XXXVV gelijktijdig zijn met de productie van LEGXXXVV in de regio Nijmegen en Xanten is nog niet bekend. Op basis van de dateerbare stempels kan vooralsnog niet worden uitgesloten dat er ook voor 120 na Chr. in bakselgroep A werd geproduceerd, het lijkt echter niet aannemelijk.

Naast de verbouwingen waarbij complete ruimten zijn vervangen (zoals bijvoorbeeld de vloer van het *apodyterium* en *frigidarium*), zijn er meerdere verbouwingen geweest waarbij een heterogene mengeling aan bouwmaterialen is gebruikt. Het gaat hierbij duidelijk om secundair gebruik van materiaal, waarbij het maar de vraag is in hoeverre het badhuis op dat moment nog in gebruik was als badhuis en in hoeverre deze verbouwingen nog Romeins te dateren zijn. De verbouwingen worden verder besproken in het onderdeel bouwhistorisch onderzoek (zie hoofdstuk XXX).

Het is niet ondenkbaar dat bij de verschillende verbouwingen en renovaties van het badhuis zowel militaire als civiele partijen betrokken zijn geweest. Bovendien weten we vooralsnog niet of degene die het bouw materiaal leverde ook de partij is die de renovaties heeft uitgevoerd. Tot slot is uit huidig onderzoek de vraag naar voren gekomen waar een stempel op duidt? Producent, tussenhandelaar, aannemer of opdrachtgever?

4. Welke verbouwingen hebben er plaatsgevonden?

Deze vraag dient bij het onderdeel bouwhistorisch onderzoek beantwoord te worden (zie hoofdstuk XXX).

5. Waar komt het materiaal vandaan waarvan het badhuis is gemaakt?

Het XRF onderzoek wijst erop dat alle in Heerlen voorkomende baksels vervaardigd zijn van grondmateriaal dat op lokaal niveau (straal 10 km) of regionaal niveau (straal 30 km) gewonnen kon worden.

Bakselgroep A is vervaardigd uit zeer fijne klei hoogstwaarschijnlijk uit het laagpakket van Reuver (formatie van Waalre). Deze klei dagzoomt onder andere bij het Duitse Brachterwald. Gezien het relatief hoge zinkgehalte in de bakselgroep A, is het goed mogelijk dat de klei langs de Geul gewonnen is. Dit betekent dat de klei op regionaal niveau (straal 30 km), maar ook op lokaal niveau (straal 10 km) gewonnen kon worden. Interessant van bakselgroep A is dat dit de enige groep is waarbinnen stempels zijn aangetroffen. Nog opvallender is dat het niet de stempels zijn van één producent maar van drie verschillende producenten, twee civiele en één militaire. Op de producten in bakselgroep komen namelijk stempels voor van CTEC, MHF en LXXXVV. Dezelfde baksels met en zonder stempels zijn op meerdere sites in de regio aangetroffen (o.a. Heerlen, Maastricht, Tongeren en Aken).

De klei voor bakselgroep B bestaat uit tertiaire klei en is waarschijnlijk afkomstig uit het laagpakket van Brunssum (Kiezeloëliet formatie). Tertiaire klei komt in Zuid-Limburg dagzomend voor bij een aantal beekjes in de regio, zoals bijvoorbeeld bij de Rode beek (Brunssum) en de Merkelbacherbeek. Vergelijkbare klei is gebruikt voor bouw materiaal uit de villa Kerkrade en is ook in contexten in Aken

aangetroffen.⁷⁸ Mogelijk werd deze klei gewonnen op de Brunsummerheide⁷⁹. Dit betekent dat de klei op regionaal, mogelijk zelfs lokaal niveau gewonnen kon worden. Op baksel B zijn geen stempels aangetroffen, ook niet op andere vindplaatsen, die inzicht bieden in de producent van dit materiaal. Wel zijn er signaturen aanwezig in de vorm van een halve cirkel of boog.

De overige bakselgroepen (C, D, E, F, G en H) werden vervaardigd van klei die voorkomt in het laagpakket van Tegelen (formatie van Waalre). De verschillen tussen de bakselgroepen zijn te wijten aan de wisselende illiet en ijzer gehalten. De klei voor deze baksels kon op regionaal niveau worden gewonnen ten noorden van Heerlen.

Alle klei kon op een regionaal niveau worden gewonnen. Aanwijzingen voor materiaal dat van verder weg, bijvoorbeeld uit het Rijngebied, is aangevoerd ontbreken. Hoewel het niet onmogelijk of ondenkbaar is dat klei verhandeld en getransporteerd werd, bevestigen deze resultaten het idee dat de meeste klei vanwege transportkosten dichtbij de bron werd verwerkt tot keramisch bouw materiaal.

9.3 Conclusies

Uit het onderzoek is gebleken dat er keramisch bouw materiaal behorende tot acht verschillende bakselgroepen (25 baksels) is gebruikt voor de bouw van het badhuis. Deze baksels zijn gemaakt met klei van drie verschillende herkomsten: laagpakket van Reuver, laagpakket van Brunsum en het laagpakket van Tegelen. Alle drie de kleisoorten waren binnen en afstand van 30 km ruim voorhanden.

In het onderzochte materiaal is een duidelijk onderscheid te maken tussen in-situ materiaal dat zich in de funderingen en enkele vloeren van het badhuis bevond en ex-situ materiaal. In-situ komen vooral bakselgroepen B, D en G voor, waarbij de vormen met name bestaan uit *tegulae* en vloertegels (*spicatum lateres*, *bessales*, *lydia* en *bipedales*). Er is geen materiaal in-situ aangetroffen dat inzicht biedt in de bovengrondse opbouw van het badhuis.

Ex-situ bevat de collectie een grotere diversiteit aan vormen en domineert bakselgroep A. Materiaal dat ex-situ is aangetroffen is niet met zekerheid afkomstig van het badhuis, maar kan ook afval zijn van nabijgelegen gebouwen. Derhalve kan dit materiaal niet gebruikt worden om conclusies te trekken over de oorspronkelijke opbouw. Het is zeer goed mogelijk dat de meerderheid van de bovengrondse opbouw al in de oudheid is hergebruikt waarbij het badgebouw als steengroef heeft gefungeerd. Hierdoor is het onderzochte keramisch bouw materiaal geen volledige afspiegeling van het oorspronkelijk gebruikte materiaal voor het badhuis.

In-situ is per ruimte gekeken naar het gebruik van de stukken keramisch bouw materiaal. Bij de beschrijving van de objecten binnen een ruimte is gedocumenteerd of het om complete of gedeeltelijke aankleding gaat. Het idee hierachter is dat deze gegevens inzicht geven of het materiaal oorspronkelijk is of onderdeel uitmaakt van een latere verbouwing of reparatie. Tevens zijn per ruimte meerdere muurkolommen bekeken om te beschrijven welke patronen op basis van gebruikte baksels

⁷⁸ Waarneming auteurs, met dank aan Andreas Schaub.

⁷⁹ Kars 2005, 283.

en vormen kunnen worden onderscheiden. Hierbij zijn 5 muurpatronen onderscheiden. In het bouwhistorisch onderzoek zal worden ingegaan op de betekenis van deze waarnemingen in combinatie met gegevens over gebruikte mortels en bouwhistorische waarnemingen.

Binnen bakselgroep A zijn stukken keramisch bouw materiaal met verschillende stempels aangetroffen, die zowel van civiele als militaire aard zijn (CTEC, MHF en L.XXXVV). Dit is een opvallend verschijnsel. Het is mogelijk dat men gebruik maakte van dezelfde kleibron, echter verklaart dit niet waarom ook de magering van het baksel met zijn specifieke inclusies, de hardheid, afwerking en oppervlaktebehandeling zo goed overeenkomen. De hypothese dat een stempel op een producent duidt komt hiermee ter discussie te staan. Net zoals tegenwoordig veelal gebeurt, kan een fabriek in de Romeinse tijd hebben geproduceerd voor meerdere merknamen. Mogelijk duidt het stempel niet op de producent maar op de naam van de tussenhandelaar, de aannemer of de opdrachtgever. Het voorkomen van verschillende stempels op eenzelfde baksel wijst er op dat het hier niet gaat om een kleine lokale pannenbakkerij, maar eerder om een groot regionaal productiecentrum voor pannen. Op basis van de tot nu toe bekende verspreiding van materiaal in baksel A, dient de locatie van dit productiecentrum nabij Heerlen te hebben gelegen.

Nader onderzoek naar dit fenomeen (buiten de huidige vindplaats) is nodig om deze hypothesen te onderzoeken. Hierbij moet er wel rekening mee worden gehouden dat het in Heerlen aangetroffen materiaal niet uit één periode dateert en dat er in verschillende perioden verschillende organisatie wijzen kunnen zijn geweest. Duidelijk is in ieder geval dat opnieuw gekeken moet worden naar de aannames rondom productie en logistiek van keramisch bouw materiaal in de Romeinse tijd.

Het is ook geconstateerd dat het gestempelde materiaal met stempel L.XXXVV in Heerlen en Aken afwijkt van keramische producten van het 30^{ste} legioen die voorkomen in Xanten, Nijmegen en langs de *limes*. De laatste producten dragen allen het stempel LEGXXXVV en zijn gefabriceerd in een ander baksel. Het feit dat in verschillende regio's keramisch bouw materiaal voor of door het 30^{ste} legioen werd geproduceerd met verschillende stempels en verschillende baksels biedt ons inzicht in de organisatie van het leger. Nader dient te worden onderzocht of deze productie gelijktijdig plaats vond of niet.

Vervolgonderzoek

Vanwege het lange gebruik van het badgebouw en de beperkingen om het bouw materiaal nauwkeurig te dateren op basis van vorm en baksel, zou het goed zijn om stukken van het in-situ materiaal absoluut te dateren door middel van natuurwetenschappelijke methoden. Met het absoluut dateren van de stukken bouwkeramiek wordt het moment van productie gemeten, maar niet het moment van gebruik in het badhuis. Om de toepassing te kunnen dateren, zou het goed zijn om de verschillende mortels te dateren door middel van OSL. Op deze wijze wordt het mogelijk om de chronologische relatie tussen de verschillende ruimten van het badgebouw te dateren.

Om verder te gaan en de herkomst van de verschillende baksels sterker te kunnen duiden en mogelijke productiecentra te kunnen bepalen dient aanvullend onderzoek te worden verricht naar materiaal dat afkomstig is van sites waar met zekerheid keramisch bouw materiaal is geproduceerd.

LITERATUUR

- Bezdek, J., C., Robert Ehrlich & W. Full. 1984. "FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm". *Computers & Geosciences* 10 (2-3): 191-203.
- Birley, A., 2001: Vindolanda's Military bath houses. Report on the pre-Hadrianic military bath house found in 2000, with analysis of the early third century bath house excavated in 1970/71, and possible sites of other bath houses.
- Brandl, U., 1999: Untersuchungen zu den Ziegelstempeln römischer Legionen in den nordwestlichen Provinzen des Imperium Romanum. Katalog der Sammlung Julius B. Fritzemeier. Rahden/Westfalen, Leidorf.
- Brodribb, G., 1987: Roman Brick and Tile. Gloucester.
- Brongers, J.A., 1983: Ceramological investigations into Medieval pottery produced at Schinveld, *Berichten van de Rijksdienst voor het oudheidkundig Bodemonderzoek* 33, 375-416. Amersfoort.
- Clerbaut, T. & R.C.A. Geerts, 2014: Nieuwe inzichten met betrekking tot de "MHF"-stempels te Tongeren, *Signa* 3, 2014, p. 51-54.
- Clerbaut, T. & N. de Winter, 2016: Bouwen in Atuatuca Tungrorum enkele opvallende bouwkeramische vondsten uit de Vermeulenstraat te Tongeren, *Signa*, 5, 2016, p. 35-38.
- Clerbaut, T. & R. Geerts, 2014: Nieuwe vondsten en inzichten met betrekking tot de "MHF"-stempels te Tongeren, *Signa*, 4, 2014, p. 51-54.
- Cram, L. & M.Fulford, 1979: Silchester tile making: The faunal environment, in: McWhirr, A. (ed.), *Roman brick and tile*, British Archaeological reports International Series 68, 201-210.
- Enkevort, H. & J. Thijssen, 2002: Cuijk. Een regionaal centrum in de Romeinse tijd. Utrecht.
- Giffen, A.E. & W. Glasbergen, 1948: Thermen en castella te Heerlen-Coriovallum. Overgedrukt uit *Miscellanea Philologica Historica et Archeologica in honorem huberti van de Weerd*, L'antiquité Classique XVII, 199-262.
- Glasbergen, W., 1962: De romeinse castella te Valkenburg Z.H. De opgravingen in de dorpsheuvel van 1962.
- Hanesch, M., R. Scholger, en M. J. Dekkers. 2001. "The application of fuzzy C-means cluster analysis and non-linear mapping to a soil data set for the detection of polluted sites". *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy* 26 (11-12): 885-91. doi:10.1016/S1464-1895(01)00137-5.

Huerta-Díaz, Miguel A, en John W Morse. 1992. "Pyritization of trace metals in anoxic marine sediments". *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56 (7): 2681–2702. doi:10.1016/0016-7037(92)90353-K.

Huisman, D. J., G. T. Klaver, A. Veldkamp, en B. J. H. van Os. 2000. "Geochemical compositional changes at the Pliocene–Pleistocene transition in fluviodeltaic deposits in the Tegelen–Reuver area (southeastern Netherlands)". *International Journal of Earth Sciences* 89 (1): 154–69. doi:10.1007/s005310050323.

Kars, E.A.K./W.K.Vos, 2004: Romeinse baksteen in Nederland. Een introductie en pleidooi voor nieuwe onderzoeksmethoden, in: H.M. van der Velde/A.A.A. Verhoeven (red.), *ADC-Info* jaargang 2003, Amersfoort (ADC Archeoprojecten), 29–35.

Kars, E.A.K., 2005: Keramisch bouw materiaal en natuursteen. In G.Tichelman. *Het villacomplex Kerkrade-Holzkuil* (ADC Archeoprojecten rapport 155). Amersfoort, 257–287.

Lammers, M., 1994: Dakpannen op De Horden. In: W.A. van Es & W.A.M. Hensing (red.), *Romeinen, Friezen en Franken in het hart van Nederland: van Traiectum tot Dorestad (50 v.Chr.–900 n.Chr.)*. Utrecht, 161–168.

Manders, M.R., B. J. H. Van Os, en J. Wallinga. 2008. "Optical dating: potentially a valuable tool for underwater cultural heritage management". 3. Machu reports. Amersfoort: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed.
http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/30921028/MACHU_RP_03_Opt_dating.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIR6FSIMDFXPEERSA&Expires=1377857288&Signature=1rajGFELdeaNuxJ3r4rRr%2B42ic%3D.

Munsell Soil Color Charts, 1954: Munsell Color Company, Inc. Baltimore, Maryland.

Orton, C., P.Tyers & A.Vince, 1993: *Pottery in archaeology*. Cambridge (Cambridge Manuals in Archaeology).

Poorter, A. de & P.J. Claeys, 1989: *Les sigles sur matériaux de construction romains en terre cuite en Belgique*, Leuven (Acta Archaeologica Lovaniensia Monographiae, I).

Pruissen, C. van, M. Polak, en E.A.K. Kars, 2011: *Keramisch Bouw materiaal Den Haag Uithofslaan*.

Rye, O.S., 1981: *Pottery technology. Principles and reconstruction*. Washington (Manuals on Archeology, 4).

Stam, M. H. 2009. "Effects of Land-Use and Precipitation Changes on Floodplain Sedimentation in the Nineteenth and Twentieth Centuries (Geul River, The Netherlands)". In *Flood and Megaflood Processes*

and Deposits: Recent and Ancient Examples (Special Publication 32 of the IAS), onder redactie van I. Peter Martini, Victor R. Baker, en Guillermina Garzón, 251–67. John Wiley & Sons.

Schins, W.J.H. & R.G.W.J. Nelissen 1989: Het gebruik van Limburgse delfstoffen bij de N.V Koninklijke Sphinx in de loop van haar geschiedenis, Grondboor en Hamer. Nederlandsche Geologische Vereniging 5/6, 295–302.

Vanderhoeven, T. & E.A.K. Kars, 2012, p. 88–102: in G. Tichelman & M. Janssens: Wonen langs de Romeinse weg in Coriovallum. Valkenburgerweg 25A, gemeente Heerlen. Een opgraving in de vicus van Heerlen. RAAP-rapport 2210.

Vriend, S. P., P.F.M.van Gaans, J.J. Middelburg, en A. De Nijs. 1988. “The application of fuzzy c-means cluster analysis and non-linear mapping to geochemical datasets: examples from Portugal”. Applied Geochemistry 3 (2): 213–224.

Walraven, N., B. J. H. Van Os, G. T. Klaver, J. H. Baker, en S. P. Vriend. 1997. “Trace element concentrations and stable lead isotopes in soils as tracers of lead pollution in Graft-De Rijp, the Netherlands”. Journal of Geochemical Exploration 59 (1): 47–58.

Warry, P., 2006: Tegulae. Manufacture, typology and use in Roman Britain (BAR 417).

Westerhoff, W. 2003. “Kiezeloöliet Formatie”. TNO-NITG. Lithostratigrafische nomenclator ondiepe ondergrond nederland (online). Available from: <https://www.dinoloket.nl/kiezeloöliet-formatie>. maart. <https://www.dinoloket.nl/kiezeloöliet-formatie>.

Westerhoff, W. E., en H. J. T. Weerts. 2003. “Formatie van Waalre”. TNO-NITG. Lithostratigrafische nomenclator ondiepe ondergrond nederland (online). Available from: www.nitg.tno.nl/nomenclatorShallow/nl/fluviatiel/waalre/index.html.

KAARTMATERIAAL OP BASIS VAN:

Romeinse wegen: M McCormick et al. 2013. Roman Road Network (version 2008), geraadpleegd op 26 februari 2018, <https://darmc.harvard.edu/data-availability>.

Landsgrenzen: GADM 2015. GADM database of Global Administrative Areas version 2.8, geraadpleegd op 26 februari 2018, <http://www.diva-gis.org/gdata>.

Rivieren: Natural Earth 2017. Rivers and lakes centerlines, geraadpleegd op 26 februari 2018, <http://www.naturalearthdata.com/downloads/10m-physical-vectors/10m-rivers-lake-centerlines/>



Figuur 107 Speklaag van keramisch bouwmetaal in zuidmuur – ruimte 1.

rij	baksel					
1	A (donker)	A	A (donker)	A	G	A (donker)
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula

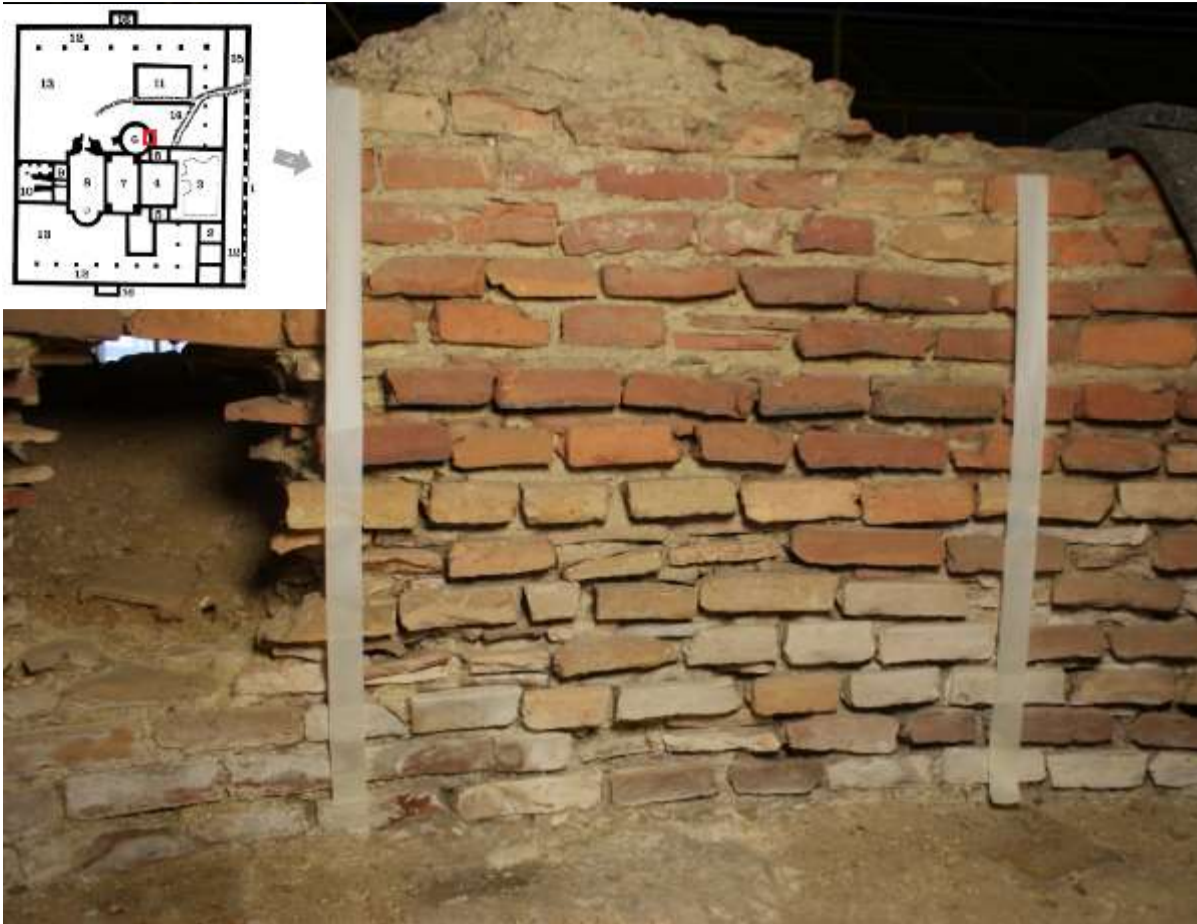
Tabel 25 Speklaag van keramisch bouwmetaal in zuidmuur – ruimte 1.



Figuur 108 Keramisch bouwmetaal in westelijke muur, oostelijk frigidarium bad - ruimte 5.

rij	baksel									
8	mortellaag met grof gebroken kbm									
vorm										
7	INDET	INDET	INDET	A	A	A	A	A	A	
vorm	plat	plat	plat	plat	plat	plat	plat	plat	plat	
6	mortellaag met grof gebroken kbm									
5	trap		D	D	D	D	D	D	D	D
vorm			plat	plat	plat	plat	plat	plat	plat	plat
4	trap		INDET	D	D	D	D	D	D	D
vorm			plat	plat	plat	plat	plat	plat	plat	plat
3	mortellaag met grof gebroken kbm									
vorm										
2	trap		INDET	D	D	D	D	D		
vorm			plat	plat	plat	plat	plat	plat		
1	mortellaag met grof gebroken kbm									
vorm										
0	NS									

Tabel 26 Keramisch bouwmetaal in westelijke muur, oostelijk frigidarium bad - ruimte 5.



Figuur 109 Keramisch bouw materiaal (uitsluitend tegulae) in noordelijke muur, sudatorium - ruimte 6.

rij	baksel						
15	VLOER						
vorm							
14	B1	B1	D	B1			
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula			
13	C	D	D	D	B	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
12	D	D	D	D	D	B2	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
11	D	D	D	D	D		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
10	D	D	D	D	D	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
9	D	D	D	D	D		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
8	D	D	D	D	D	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
7	B2	B2	B2	B2	B1	B1	B2
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
6	B (gemarmerd)	B1	B1	B (gemarmerd)	D	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
5	B2	B1	B1	B1	B1	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
4	B (gemarmerd)	B (gemarmerd)	B2	B1	B1	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
3	B1	B1	B (gemarmerd)	B1	B (gemarmerd)	B1	B1
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
2	?(rood)	?(rood)	B (gemarmerd)	D	D		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
1	?(rood)	B	?(rood)	?(rood)	?(rood)		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		

Tabel 27 Keramisch bouw materiaal (uitsluitend tegulae) in noordelijke muur, sudatorium - ruimte 6.



Figuur 110 Rommelige secundaire stookmond (praefurnium 3) van keramisch bouw materiaal aan de buitenzijde van het sudatorium – ruimte 6.

rij	baksel								
23	D								
vorm	tegula								
22	A	D	?	B1	F				
vorm	tegula	tegula	plat (kerfsnede)	tegula	tegula				
21	?	?	D	D					
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	?				
20	B1	A	G	A	A	?			
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	imbrex	?			
19	F	B (geverfd)							
vorm	tegula	tegula							
18	D	B	D	B2	A	A (donker)	B2	B	
vorm	plat	plat	plat	plat	plat	tegula	tegula	tegula	
17	B (geverfd)	B1	B1	A	?	B2	B2	D	
vorm	plat	plat	plat	plat (kerfsnede)	?	tegula	plat	?	
16	B1	A							
vorm	plat	plat							
15	A	B1	B1	?	D	?	?	G	D
vorm	plat	plat (kerfsnede)	plat	tegula	plat	tegula	tegula	plat	bessales
14	B (geverfd)	B	MORTEL	D	D	D			
vorm	plat (kerfsnede)	tegula	brok	tegula	tegula	plat			
13	F	B	A		xxx	D	G		
vorm	tegula	tegula	tegula		xxx	plat	plat		
12	G	A	A	A	xxx	D	D	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	plat	xxx	tegula	plat	plat	
11	C	C	D		xxx	D	D		
vorm	plat	plat	plat		xxx	plat	plat		
10	G	B	?	?	xxx	?			
vorm	plat	plat	tegula	plat	xxx	bessalis			
9	B	D	D	A	xxx	G			
vorm	tegula	plat	tegula	plat	xxx	tegula			
8	D	?	?		xxx	B (geverfd)			
vorm	plat	plat	plat		xxx	plat			

7	D	?	G		xxx	A			
vorm	tegula	plat	tegula		xxx	tegula			
6	G	G	B (geverfd)		xxx	A			
vorm	plat	bessalis	plat		xxx	tegula			
5	B1	G	?		xxx	?			
vorm	plat	plat	plat		xxx	plat			
4	D	?	?		xxx	B (geverfd)			
vorm	plat	?	?		xxx	plat			
3	?				xxx	G			
vorm	tegula				xxx	pedalis/bipedalis			
2	B2				xxx	?			
vorm	tegula				xxx	plat			
1	D?				xxx	?			
vorm	plat				xxx	plat			
0					xxx	?			
vorm					xxx	plat			
-1					xxx	?			
vorm					xxx	plat			
-2					xxx	?			
vorm					xxx	plat			
-3					xxx	?			
vorm					xxx	plat			
-4					xxx	?			
vorm					xxx	plat			
-5					xxx	D			
vorm					xxx	plat			

Tabel 28 Rommelige secundaire stookmond (praefurnium 3) van keramisch bouw materiaal aan de buitenzijde van het sudatorium – ruimte 6.



Figuur 111 Muur van keramisch bouw materiaal in tepidarium, oostmuur - ruimte 7.

rij	baksel				
13	D	D	D	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
12	D	D	D	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
11	D	D	A (donker)	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
10	D	D	D	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
9	D	C(item 23)	D	A?	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
8	C(item 23)	C(item 23)	D	C(item 23)	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
7	D	D	D		
vorm	tegula	tegula	tegula		
6	D	D	G	?	D
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
5	D	D	D	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
4	?	?	D	?	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
3	?	?	D	?	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
2	B	?	?	?	?
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
1	?	?	?	?	B
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula

Tabel 29 Muur van keramisch bouw materiaal in tepidarium, oostmuur - ruimte 7.



Figuur 112 Muur van keramisch bouw materiaal in tepidarium, noordmuur – ruimte 7.

rij	baksel				
11	D	D	D		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
10	D	C(item 23)	C	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
9	D	D	D		
vorm	tegula	tegula	tegula		
8	D	D	D	?(verbrand)	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
7	D	C(item 23)	D		
vorm	tegula	tegula	tegula		
6	B1	B1	G	?	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
5	D	C(item 23)	B		
vorm	tegula	tegula	tegula		
4	B1	B1	B1	B1	B1
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
3	B1	B1	B1		
vorm	tegula	tegula	tegula		
2	B	B1	B1	B2	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
1	B1	B1	B1	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	

Tabel 30 Muur van keramisch bouw materiaal in tepidarium, noordmuur – ruimte 7.



Figuur 113 Muur van keramisch bouw materiaal in tepidarium, westmuur – ruimte 7.

rij	baksel					
13	B1	B	B	B	B	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
12	D	B1	D	D	B	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
11	B2	C	B2	E		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
10	B1	gemarmerde B (CHECKEN!)	gemarmerde B (CHECKEN!)	B	B	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
9	B2	C(item 23)	A (donker)			
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
8	B	B	B1	B1	B	B
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
7	B1	B1	B1	B1		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
6	D	B1	B1	B1		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
5	D	B1	B1	B1		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
4	C	B	B	B1	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
3	?	G	B1			
vorm	tegula	tegula	tegula			
2	C(item 23)?	B	B1	B1		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
1	B1	B1	B1			
vorm	tegula	tegula	tegula			

Tabel 31 Muur van keramisch bouw materiaal in tepidarium, westmuur – ruimte 7.



Figuur 114 Muur van keramisch bouw materiaal in tepidarium, westmuur – ruimte 7.

rij	baksel					
13	D	D	B	B	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
12	D	D	D	B	D	D
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
11	D	D	D	B1	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
10	D	D	D	B1		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
9	D	D	D	D	B	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
8	D	D	D	B1		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
7	D	?	D	D	D	B2
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
6	D	D	A (donker)	B		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
5	?	?	D	D		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
4	B	D	C			
vorm	tegula	tegula	tegula			
3	B	B	D	?		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
2	B	HOEK	D	C(item 23)		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
1	B	HOEK	B	B		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		

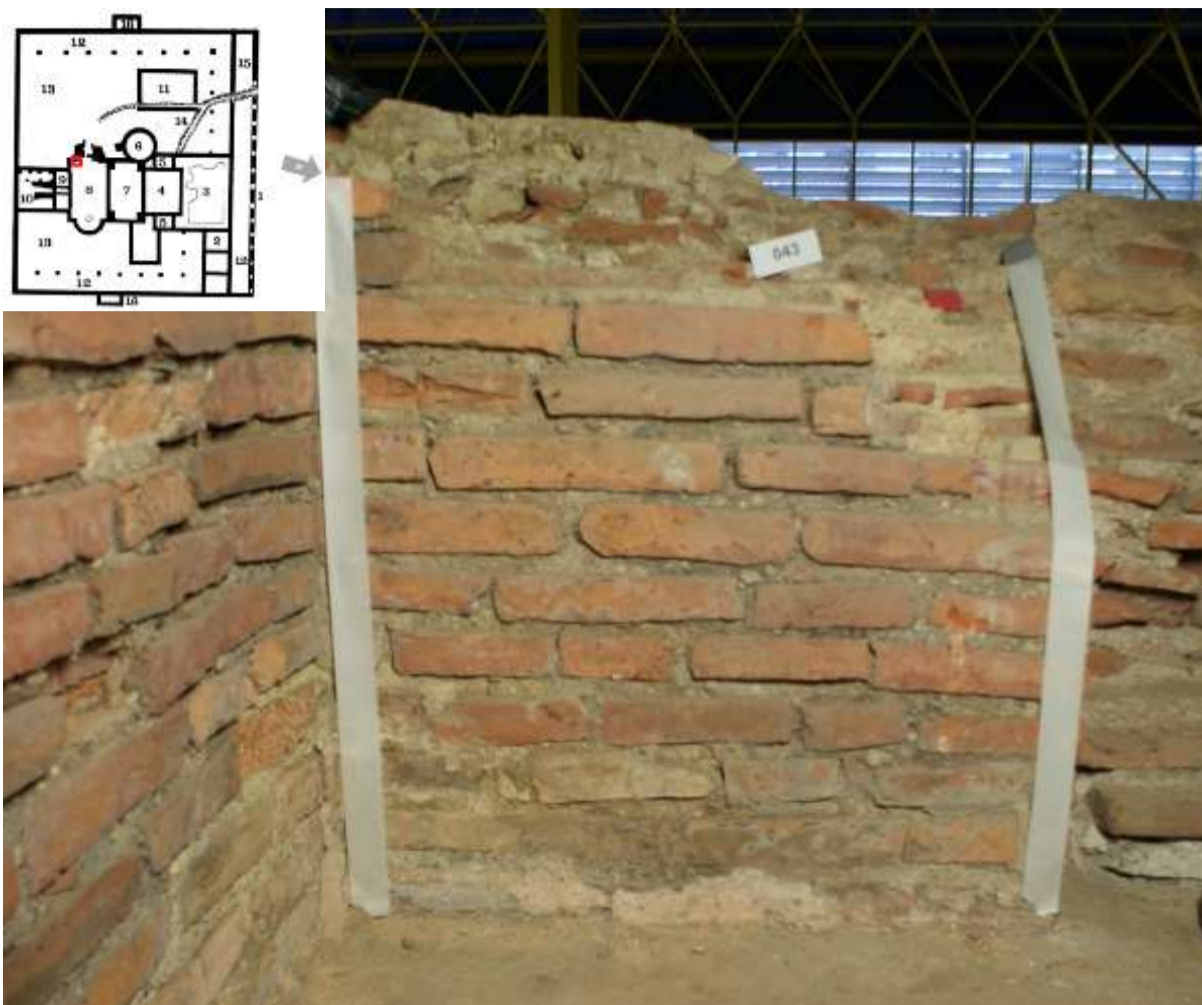
Tabel 32 Muur van keramisch bouw materiaal in tepidarium, westmuur – ruimte 7.



Figuur 115 Dichtzetting van een van de boogjes tussen tepidarium en caldarium, gezien vanuit het tepidarium – ruimte 7.

rij	baksel			
5	-	B	B	
vorm		<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	
4	NS	B	B	
vorm		<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	
3	D	D	B	?
vorm	<i>pedalis/bipedalis</i>	?	<i>bessalis</i>	?
2	B	D	B	
vorm	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	
1	B	B	B	
vorm	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	

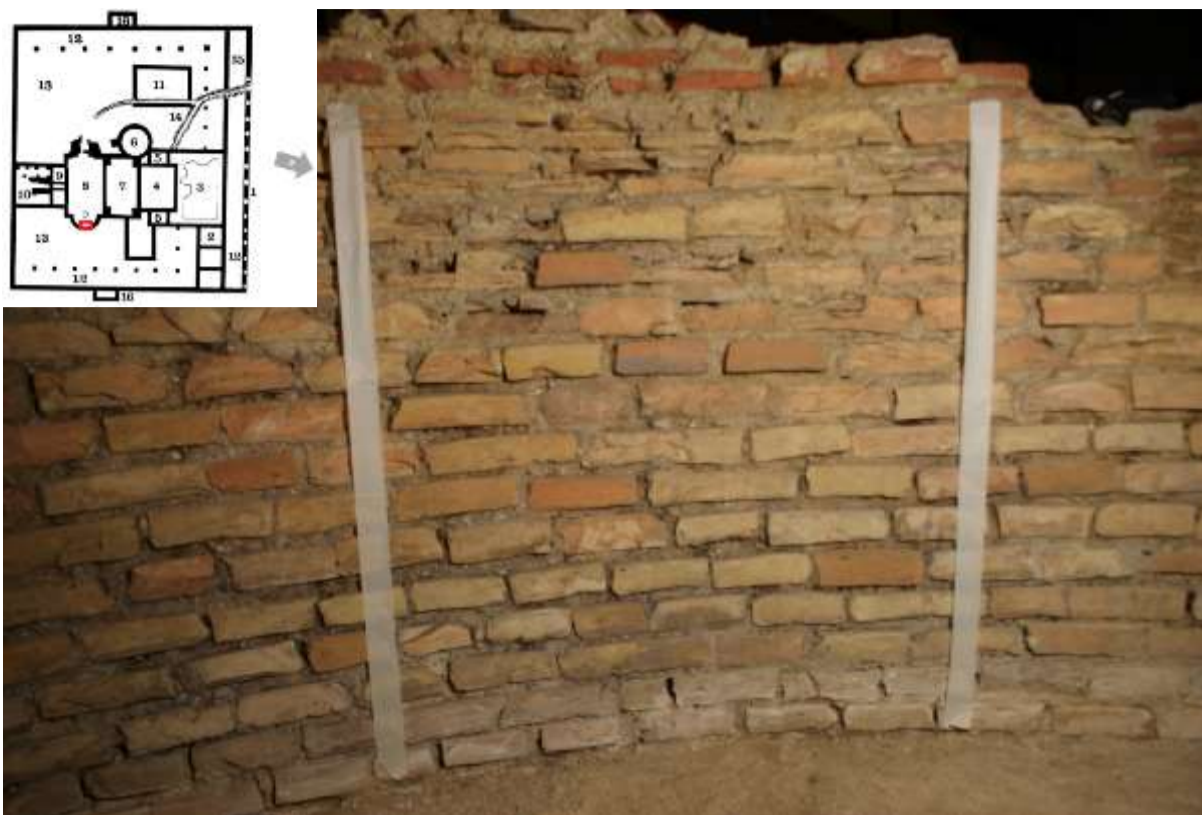
Tabel 33 Dichtzetting van een van de boogjes tussen tepidarium en caldarium – ruimte 7.



Figuur 116 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, westmuur – ruimte 8.

rij	baksel				
12	D				
vorm	tegula				
11	D				
vorm	tegula				
10	D	D			
vorm	tegula	tegula			
9	D	D	D		
vorm	tegula	tegula	tegula		
8	D	D	D	G	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
7	D	D	D		
vorm	tegula	tegula	tegula		
6	D	D	D	G	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
5	B	D	D	D	D
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
4	D	D	D	D	D/G
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
3	B	B	D	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	
2	B	B	D?	D	D
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
1	B	roze mortel	B		
vorm	tegula	tegula	tegula		

Tabel 34 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, westmuur – ruimte 8.



Figuur 117 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, oostelijke absidale muur – ruimte 8.

rij	baksel					
16	D	D	D	D	D	D
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
15	B1	B1	B1	B1	B1	B
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
14	B1	B1	B1	B1	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
13	B1	B1	B1	B1	B1	B1
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
12	B1	B2	B1	B1	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
11	B1	B	B1	B	B1	B1
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
10	B1	B1	B2	B2	B2	B1
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
9	B2	B	B	B1	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
8	B1	B1	B1	B1	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
7	B	B2	B1	B1	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
6	B1	B1	B1	B1	B1	B1
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
5	B1	B1	B1	B1	B2	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
4	B1	B1	B1	B1	B1	B1
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
3	B1	B1	B1	B	B1	B1
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
2	B1	B1	B1	B1	B1	B1
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
1	B1	B1	B1	B1	B1	B1
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula

Tabel 35 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, oostelijke absidale muur – ruimte 8.



Figuur 118 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, oostelijke absidale muur – ruimte 8.

rij	baksel						
15	D	D	D	D	BREUK		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula			
14	G	G	G	D	D	BREUK	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
13	B	B	D	B2	D	BREUK	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
12	A	B2	D	D	B	BREUK	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
11	B2	D	D	B1	D	BREUK	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
10	D	D	B2	B2	B	D	BREUK
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
9	B	B1	D	B1	D	BREUK	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
8	G	D	B	B1	B2		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
7	D	D	B1	B	B2		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
6	D	B2	B1	B2	B2		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
5	D	D	D	B2	B1		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
4	B1	B1	B1	B1	B1	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
3	B1	B1	B1	B1	B1	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
2	B1	B1	B1	B1	B1	B1	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
1	B1	B1	B1	B1	B1		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		

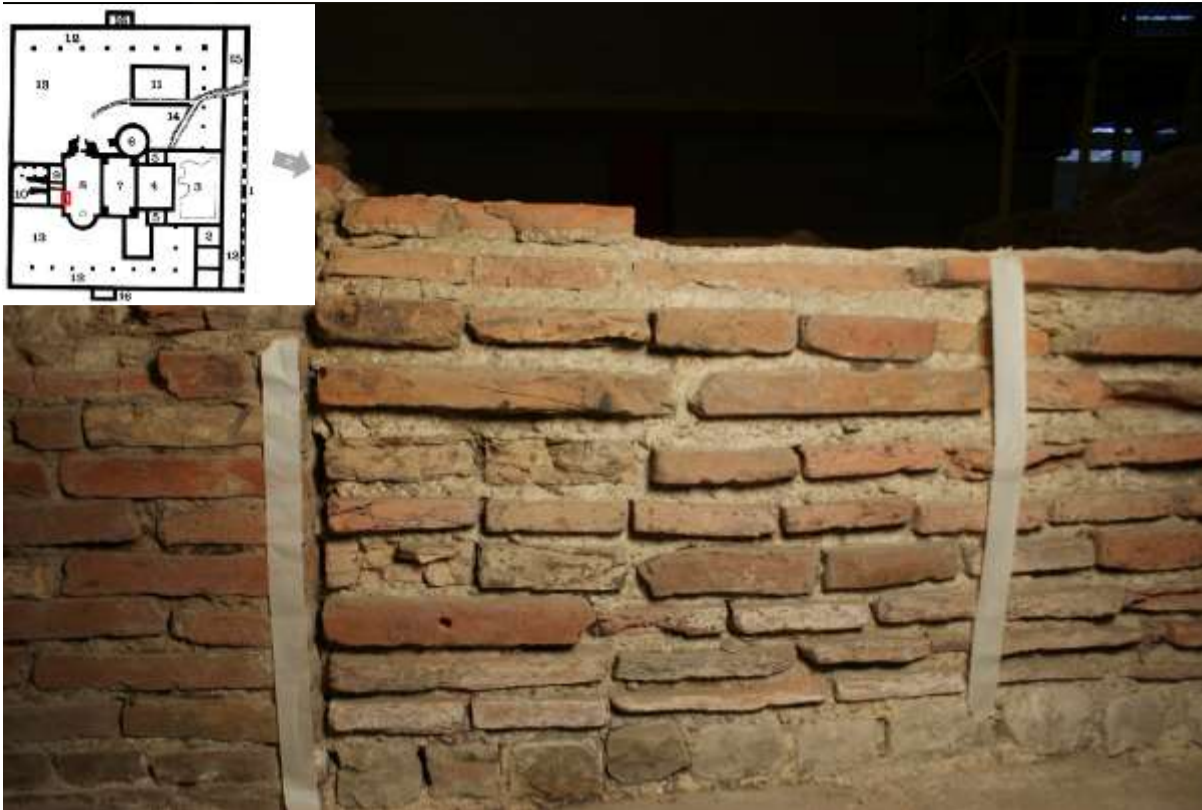
Tabel 36 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, oostelijke absidale muur – ruimte 8.



Figuur 119 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, zuidoostelijke hoekmuur – ruimte 8.

rij	baksel							
13	B1	D						
vorm	tegula	tegula						
12	B1	BREUK	D					
vorm	tegula	tegula	tegula					
11	B1	BREUK	D	D	-	-	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
10	B	B1	BREUK	D	D?	D	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
9	B1	B1	BREUK	D	D	D	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
8	B1	B1	BREUK	D	A	D	D	D
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula
7	B1	B1	BREUK	D	D	D		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
6	B1	B1	B	BREUK	A	C/D?		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
5	B1	B1	BREUK	D	D	D?		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
4	B1	B2	B1	BREUK	D	D		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
3	B1	B1	B1	?	BREUK	D	B	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
2	B1	B1	B1	BREUK	D	D		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula		
1	B1	B1	B1	BREUK	B1			
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula			

Tabel 37 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, zuidoostelijke hoekmuur – ruimte 8.



Figuur 120 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, zuidelijke dichtzettingmuur – ruimte 8.

rij	baksel						
11	?						
vorm	<i>pedalis/bipedalis</i>						
10	E	D	?				
vorm	?	<i>bessalis</i>	<i>pedalis/bipedalis</i>				
9	G	?	C?	D	D		
vorm	<i>bessalis</i>	<i>pedalis/bipedalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>		
8	G	G					
vorm	<i>pedalis/bipedalis</i>	<i>pedalis/bipedalis</i>					
7	B1	B1	?	D	D		
vorm	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>		
6	D	D	D	D	D		
vorm	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>		
5	B1	B1	?	?			
vorm	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>pedalis/bipedalis</i>	<i>bessalis</i>			
4	G	D	D	D			
vorm	<i>pedalis/bipedalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>			
3	D	D	D	D?			
vorm	<i>pedalis/bipedalis</i>	<i>pedalis/bipedalis</i>	?	<i>tegula</i>			
2	D	D	A?	D			
vorm	<i>bessalis</i>	<i>bessalis</i>	<i>tegula</i>	<i>bessalis</i>			
1	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Tabel 38 Muur van keramisch bouw materiaal in caldarium, zuidelijke dichtzettingmuur – ruimte 8.



Figuur 121 Muur van keramisch bouw materiaal in alveus, westmuur – ruimte 9.

rij	baksel					
15	D					
vorm	tegula					
14	D	D	D	D	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
13	D	D				
vorm	tegula	tegula				
12	C(item 23)	D	D	D		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
11	D	D	C(item 23)	D	D	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
10	C(item 23)	C(item 23)	C(item 23)	D		
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
9	C(item 23)	D	D			
vorm	tegula	tegula	tegula			
8	D	D	D	mortel		
vorm	tegula	tegula	tegula			
7	D	D	D	mortel		
vorm	tegula	tegula	tegula			
6	C(item 23)	D	mortel			
vorm	tegula	tegula				
5	D	D	D	mortel		
vorm	tegula	tegula	tegula			
4	?	D	D	mortel		
vorm	tegula	tegula	tegula			
3	verweerd	verweerd	B	B	mortel	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula		
2	verweerd	verweerd	B	B	B	
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	
1	verweerd	verweerd	verweerd	verweerd	B	B
vorm	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula	tegula

Tabel 39 Muur van keramisch bouwmetaal in alveus, westmuur – ruimte 9.

Ruimte	rij	laag (van onder naar boven)					
		A	B	C	D	E	F
sudatorium	I2	B					
sudatorium	G2	B					
sudatorium	H3	B					
sudatorium	H2	-					
sudatorium	F2	-	B	B	B		
sudatorium	E2	B	B				
sudatorium	F1	B	B				
sudatorium	E1	B					
sudatorium	D1	B	B				
sudatorium	K4	B	B	B	B	B	B
sudatorium	B2	-	-	G	B		
sudatorium	C1	B	B	B			
sudatorium	C2	-	B	B			
sudatorium	C3	-	B				
sudatorium	D3	B	B				
sudatorium	E3	B	B				
sudatorium	G3	-	B	B	B		
sudatorium	D2	-	B	B			
sudatorium	K5	B					
sudatorium	H4	B	B	B (roze en kleiner)			
sudatorium	G4	-	B				
sudatorium	E4	-	B	B			
sudatorium	D4	B	B	B			
sudatorium	C4	-	B	B	D?		
sudatorium	A4(ROND)	B1	A	C	A		
sudatorium	A5	B	B	B			
sudatorium	D5	B	B(roze)	ZANDSTEEN			
sudatorium	F5	B	C				
sudatorium	G5	B	B	B			

sudatorium	I8	B	B				
sudatorium	G9	B	TEGULA A	B			
sudatorium	G7	-	B	B			
sudatorium	F7	B					
sudatorium	F9/10	B	B				
sudatorium	E8?	-	B	B			
sudatorium	C6	-	B	B	B		
sudatorium	A6	B	B				
sudatorium	A7	-	-	B	B		
sudatorium	BC8	-	B				
sudatorium	C9	-	-	-	-	-	
sudatorium	D9	B					
sudatorium	E10	B	B	B			

Ruimte	rij	laag (van onder naar boven)					
		A	B	C	D	E	F
tepidarium	N1	B	D	D			
tepidarium	P4	B					
tepidarium	N4	B	B(roze)	B			
tepidarium	P6	B	B	B	C		
tepidarium	R6/7	B	B	B	B		
tepidarium	N6	B	D	D			
tepidarium	P7	B	B	B	B		
tepidarium	P7/8	B	B	B	B		
tepidarium	N7	D	B				
tepidarium	M4	B	B	B			
tepidarium	M6	B	B				
tepidarium	M7	B	B	B	B	B(ROZE)	
tepidarium	M12	B	B	D	D(ROND)	D(ROND)	
tepidarium	M9	B	B	B	B	B	
tepidarium	M8	?	B	B	B	B	
tepidarium	N12	B	B	B			
tepidarium	N9	B	B	B	B		
tepidarium	N8	B	B	B	B		
tepidarium	P9	G	B	G	B		
tepidarium	P11	B					
tepidarium	O9	B	B	B			
tepidarium	P8	B	B	B			
tepidarium	Q8	B	B	B	(ONBEKEND BAKSEL)		
tepidarium	R8	B	B	B	B		
tepidarium	L9/10	B	B	B	B	B	
tepidarium	L8	B	B	B			
tepidarium	L7	B	B	B	D		
tepidarium	L6	B	B	B	B		
tepidarium	L4	B	B(signatuur cirkel)	B			
tepidarium	K9/10	B	B	G			
tepidarium	K8	B	B	B	D		
tepidarium	K7	B	B	B	B		
tepidarium	K6	B	B	B			

tepidarium	K2	D	B	D	B(DUN)	B	
tepidarium	J1	B	B	A	B		
tepidarium	I8	B	B	B	D		
tepidarium	I9	G	B	B	A(ROND)		
tepidarium	I12	B	D				
tepidarium	I13	D	B	B	B		
tepidarium	J13	B	A				
tepidarium	J12	B	B	B	B		
tepidarium	J9/10	B					
tepidarium	J8	B	B	B	B		
tepidarium	J7	B	B	B	B		
tepidarium	J6	B	B	B	B	B	
tepidarium	J4	B	B	D			
tepidarium	I7	C	C	G	C	C(ROND)	
tepidarium	I2	B	B	B			
tepidarium	H13	B	B				
tepidarium	H11/12	B	B	?	C		
tepidarium	H9	B	B	B	B		
tepidarium	H8	BIP(GEKAPT)	C(KWARTSACHT.)	B	B		
tepidarium	H7	B	B	G	C	G	G
tepidarium	G9	B	B	B	B	D(ROND)	
tepidarium	G7/8	B	B	B	B	B	B
tepidarium	G6	B	B	B(ROZE)	B(ROZE)	B	
tepidarium	G4	B	B	D	D	B	B
tepidarium	G1	B(DUN)	D	D(ROND)			
tepidarium	G2	B	B	B	B	B	
tepidarium	H1	B	B	B	B		
tepidarium	H2	B	B	B	G(ROND)	G(ROND)	
tepidarium	F4	A(DONKER)	C	B	B	A	D
tepidarium	F6	B	B	B	B2(ROND)	B(ROND)	
tepidarium	F7	B	B	B	B	B	B
tepidarium	F8	B	B	B	B		
tepidarium	F9	B	B	B			
tepidarium	F12	B	A	B	B		
tepidarium	F13	B	G	B			
tepidarium	P12	BIP(B)/BIP(G)	BIP G	BIP(B)	BIP(B)		
tepidarium	F7	BIP G	BIP G	BIP G	BIP D		
tepidarium	I6	B					

tepidarium	I4	B	B	D	B	B	D
tepidarium	H4	B	B	B	B		
tepidarium	H6	B	B	B	B	B	B
tepidarium	F2	B	B	B	B	D	
tepidarium	F1	B	B	B	B		
tepidarium	E1	D(ROND)	B(ROND)				
tepidarium	E2	B	B	D	D	B(ROND)	
tepidarium	F4	B	D(ROND)	D(ROND)			
tepidarium	D1	B	B	B			
tepidarium	D11/12	?	B	G	B	D	
tepidarium	B7	B	B	B			
tepidarium	A6	B	D				
tepidarium	C13	B	B	G	G		
tepidarium	E13	B	B	B			
tepidarium	E11/12	B	B	B			
tepidarium	B2	B	B	B	B		
tepidarium	E9	B	B	B			
tepidarium	E8	B	B	B			
tepidarium	E6	B	B	C	B	B	B
tepidarium	E7	B	B	B	B		
tepidarium	A2	B	B				
tepidarium	B9	B	B	B			
tepidarium	D9	B	B	B	B	D	D
tepidarium	D8	B	B				
tepidarium	C11	B	B	B	B		
tepidarium	D2	B	B				
tepidarium	C8	B	B	B	B		
tepidarium	A10	B	B	B	B		
tepidarium	B6	B	B	B	B		
tepidarium	D7	B	B	B	B	B	
tepidarium	D6	A(DONKER)	A	B	B	B	D
tepidarium	A4	B	B	B	B	B	
tepidarium	B8	B	B	B	B	B	B
tepidarium	D4	B	B	B	B	G	D
tepidarium	C6	B	B	A	B	B	
tepidarium	C4	B	B	B	B(ROND)	D(ROND)	
tepidarium	A7	B	B	B	B	B	
tepidarium	C7	B	B	B			

tepidarium	C9	B	B	B	B	B	
tepidarium	C2	B	B	D	D(ROND)	D(ROND)	
tepidarium	A9	B	G(ROND)	G(ROND)			
tepidarium	A8	B	B	B			
tepidarium	B4	B	B	B	B		

Ruimte	rij	laag (van onder naar boven)					
		A	B	C	D	E	F
caldarium	A17	D (mogelijk BIP)	B(roze) (mogelijk BIP)				
caldarium	A16	D (mogelijk BIP, verweerd)					
caldarium	A15	B					
caldarium	B16	B	D				
caldarium	B15	D	D	D?(BIP)			
caldarium	C17	B	B(roze)				
caldarium	C16	D	B	B			
caldarium	C15	B(rood)	B(rood)	B			
caldarium	C14	?(ROND)	A(ROND)				
caldarium	C13	B	B	B	B		
caldarium	C12	G(1.5 voet)	B	D	D		
caldarium	D17	B	B	B	B		
caldarium	D16	B	B	B			
caldarium	D15	B	B	B	B		
caldarium	E17	B	B	B	B		
caldarium	F18	G	B	D(ROND)			
caldarium	F17	B	B	B	B		
caldarium	F16	B	B	B	B		
caldarium	E16	B	B	B	B		
caldarium	E15	B	B	B			
caldarium	D14	A	B				
caldarium	E14	B(rood)	B				
caldarium	D13	G	B(roze)	B			
caldarium	D12	D(ROND)	D(ROND)				
caldarium	E13	B	B	B			
caldarium	E14	B	B				
caldarium	E15	B	B	B	A(ROND)	A(ROND)	
caldarium	G13	B	B	B			
caldarium	G18	B	B	G			
caldarium	G17	B	B	B	G		
caldarium	G16	B	B	D	D(ROND)		
caldarium	G15	B	B	B			
caldarium	G14	B	B	A(ROND)	D(ROND)	D(ROND)	A(ROND)
caldarium	F13	B	B	D	G		
caldarium	G12	B(dun)	B	B(dun)	C		

caldarium	F12	A(ROND)	G(ROND)	B(ROND)			
caldarium	F10/11	G	G(signatuur)	D	?(zwart breuk)		
caldarium	D11	D(1.5 VOET)	A(ROND)	D(ROND)			
caldarium	C10	B	B	D			
caldarium	B10	B	B	B(roze)			
caldarium	H13	B	B	B	B		
caldarium	H14	D	B	B	B		
caldarium	H15	B	B	B	B		
caldarium	H16	D	B	G	B		
caldarium	H17	B	B	B	B	B	B
caldarium	H18	B	B	B			
caldarium	I19	B	B	B			
caldarium	I20	B	B				
caldarium	I18	B	B	B			
caldarium	I17	B	B	G	D		
caldarium	I16	D	B	D(ROND)			
caldarium	I15	B	B	B			
caldarium	I14	D	B	B	B		
caldarium	I13	B	D(bip?ped?)	D(ROND)			
caldarium	I12	B	B	B	D		
caldarium	J11	D	B	B			
caldarium	J12	B	B	B			
caldarium	J13	B	B	A(ROND)	A(ROND)	A(ROND)	
caldarium	J14	B	B	B			
caldarium	J15	B	D				
caldarium	K15	B(ROND)	B(ROND)				
caldarium	J16	B	B(ROND)	B(ROND)	D(ROND)		
caldarium	K16	B	B	B			
caldarium	J17	B	B				
caldarium	I9/10	B	B	B			
caldarium	I9	D	?(ZWART OP BREUK, VEEL KWARTS)				
caldarium	JK9	B	B				
caldarium	J8	B	B	B			
caldarium	JK8	B	B	B	G		
caldarium	JK6	B	B	B			
caldarium	JK4	B	D	D	A	C	B(dun)
caldarium	K17	B					

caldarium	J18	B	G	B			
caldarium	K18	B	G(ROND)				
caldarium	K19	B	B	B			
caldarium	D8	B	B	B(donker)	D	?	
caldarium	C9	B	D	D			
caldarium	G2	G	C	D			
caldarium	I3	D(ROND)	D(ROND)	A(ROND)	A(ROND)		
caldarium	IJ3	B	B				
caldarium	GH4	D	G	D	G		
caldarium	E9	D	B				
caldarium	D9	B	D				
caldarium	D7/8	B	B	B	D	G	
caldarium	D4/5	D(ROND)	D(ROND)	B(ROND)	D(ROND)	D(ROND)	
caldarium	G3	B	D(ROND)	G(ROND)	D(ROND)		
caldarium	HI1	A(ROND)	D(ROND)				
caldarium	JK3	B	C	D(ROND dik)			
caldarium	JK7	D	D	B			
caldarium	J7	B	B	B	B		
caldarium	A10	A(donker BIP)	A(donker BIP)	A(donker BIP)			

Ruimte	rij	laag (van onder naar boven)					
		A	B	C	D	E	F
alveus	L5	D(bijgekapt)	D(bijgekapt)	G	G	A	D
alveus	K4	<i>D(GEKAPT, BIP?PED?)</i>	D(GEKAPT, BIP?PED?)				
alveus	M3	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	D (GEKAPT, BIP?PED?)	
alveus	L3	G	D	D	G	D	D
alveus	M1	<i>?</i>	<i>?</i>	<i>D</i>	D	A	D
alveus	L1	D(ROND dik)	D(ROND)	A(ROND)	D(ROND)	D (GEKAPT, BIP?PED?)	D(RO
alveus	K1	B	D	D	D	D	
alveus	K3	D	A	A	G	G	
alveus	J1	<i>D</i>	<i>D</i>	D			
alveus	I1	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	D	D	D
alveus	J4	<i>?</i>	G	B	D(ROND)		
alveus	I4	<i>?</i>	<i>D</i>	D	D	D	
alveus	H4	D	D	B	B		
alveus	G1	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D(ROND)</i>	D(ROND)	D(ROND)	
alveus	I3	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	D	D
alveus	J3	D(AFGEKAPTE PEDALES)					
alveus	F4	D	D	D(ROND)			
alveus	E4	D(AFGEKAPTE PEDALES)	D				
alveus	A4	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	D		
alveus	A1	D	D				
alveus	B1	<i>?</i>	D(ROND GEKAPTE, PED ,BIP?)				
alveus	C1	D	D	D	A		
alveus	C2/3	D(BIP)	D(BIP)	D(BIP)			
alveus	E3	D(BIP)	D	D	A(ROND)	A(ROND)	
alveus	E1	D	D				
alveus	F3	D(BIP)	A(SIGNATUUR STRIK)	B			
alveus	F1	D	D(ROND)				
alveus	M5	<i>?</i>	<i>?</i>	<i>?</i>	<i>?</i>	<i>?</i>	<i>A/G</i>
alveus	G2/3	<i>?</i>					
alveus	A3	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>		

ROOD = IN SITU

Bakselgroep	Aantal	Gewicht	% aantal	% gewicht	Baksel	Aantal	Gewicht	% aantal	% gewicht
A	41	39356	30,8%	24,8%	A1	10	11828	7,5%	7,5%
					A2	2	1863	1,5%	1,2%
					A3	5	6583	3,8%	4,1%
					A4	16	8711	12,0%	5,5%
					A5	2	847	1,5%	0,5%
					A6	6	9524	4,5%	6,0%
B	25	33032	18,8%	20,8%	B1	13	22003	9,8%	13,9%
					B2	9	9665	6,8%	6,1%
					B3	3	1364	2,3%	0,9%
C	7	7878	5,3%	5,0%	C1	2	3511	1,5%	2,2%
					C2	3	1994	2,3%	1,3%
					C3	2	2373	1,5%	1,5%
D	29	42909	21,8%	27,0%	D	29	42909	21,8%	27,0%
E	15	18357	11,3%	11,6%	E1	1	2447	0,8%	1,5%
					E2	4	2593	3,0%	1,6%
					E3	2	1068	1,5%	0,7%
					E4	8	12249	6,0%	7,7%
G	7	2155	5,3%	1,4%	G1	6	1897	4,5%	1,2%
					G2	1	258	0,8%	0,2%
I	1	173	0,8%	0,1%	I	1	173	0,8%	0,1%
INDET	8	14793	6,0%	9,3%	INDET	8	14793	6,0%	9,3%
	133	158653	100,0%	100,0%	Totaal	133	158653	100,0%	100,0%

Tabel 40 Overzicht van de verschillende baksels in de museumcollectie.

XRF onderzoek

Röntgenfluorescentie is een techniek om aan de hand van de intensiteit van karakteristieke röntgenstraling de elementsamenstelling vast te stellen. Hiertoe wordt röntgenstraling opgewekt in een röntgenbuis (zilver anode) die vervolgens in het monster in staat is elektronen uit de binnenste schil te verwijderen. De ontstane vacature wordt opgevuld door een elektron uit een van de elektronenschillen daaromheen. Hierbij komt karakteristieke röntgenstraling vrij die per element verschillend is. Omdat het elektronen uit de binnenste schillen betreft, veranderen de chemische eigenschappen niet (non destructief). De intensiteit van deze karakteristieke röntgenstraling is proportioneel voor de concentratie.

De analyse van de objecten is uitgevoerd met een Niton XL3t draagbare röntgenfluorescentie-apparaat (XRF), voorzien van een vaste (solid state) silicium drift detector. Dit maakt het apparaat ook geschikt voor het meten van lichtere elementen, zoals zwavel en fosfor. Het meetoppervlak bedraagt ongeveer 2cm².

Geo-chemische variatie

De volgende elementen en oxides zijn geanalyseerd in deze studie: SiO₂, Al₂O₃, K₂O, CaO, TiO₂, MnO, Fe₂O₃, Zn, Pb, Rb, Sr, Ba en Zr.

De oxides Al₂O₃ en K₂O komen vooral voor in klei mineralen net als de sporen Rb en Sr. In chemisch verweerde kleien komt het kleimineraal kaolien voor (Al₂SiO₅(OH)₄). Dit mineraal komt ook voor in de pliocene kleien van Reuver en Brunssum (Huisman e.a. 2000). Omdat lichte elementen met een lagere nauwkeurigheid worden gemeten met de XRF-methode dan de zwaardere (sporen) elementen wordt in deze studie Rb gebruikt als maat voor het kleimineralen gehalte.

CaO maar ook Sr en Ba komen samen voor in kalk dat voornamelijk bestaat uit het mineraal CaCO₃, calciet. TiO₂ en Zr komen voor in discrete zware mineralen die zowel in de klei als zand fractie kunnen voorkomen. Zr komt voor in het mineraal zirkoon (ZrSiO₄). Dit mineraal is chemisch zeer resistent, heeft een hoge dichtheid en is vaak oververtegenwoordigd in de (fijne) silt fractie. TiO₂ komt voor in de mineralen rutiel (TiO₂) en ilmeniet (FeTiO₃). Deze mineralen zijn beide ook zeer verweringsbestendig en worden bijvoorbeeld gevonden in hoge waarden in tropische bodems. Echter door hun hogere dichtheid vindt er bij sediment transport ook sortering plaats waardoor zware mineralen geconcentreerd kunnen worden (Manders, Van Os & Wallinga 2008). Löss bevat relatief veel zware mineralen vergeleken met klei- of zandafzettingen. Dit komt omdat door het eerdergenoemde hogere gehalte aan zware mineralen in de silt fractie, die specifiek wordt uitgeblazen (als löss) onder aride omstandigheden zoals in het toendralandschap van een ijstijd.

Fe₂O₃ komt ook voor in kleimineralen zoals biotiet dat een belangrijk bestanddeel vormt van illiet. Daarnaast kan ijzer voorkomen in kleipakketten als ijzercarbonaat (sideriet) of als oxide als coating rond kwartskorrels of als ijzer concreties die meestal bestaan uit ijzerhydroxide. Daarnaast kan ijzer voorkomen als sulfide in de vorm van het mineraal pyriet. Ijzer is een element dat onder reducerende omstandigheden in het grondwater kan oplossen en kan verplaatsen. Wanneer opgelost ijzer dan zuurstof, hoge carbonaat of sulfide gehalten tegenkomt, kan het weer neerslaan waardoor voornoemde ijzerrijke mineralen gevormd worden. Mangaan (MnO) heeft vergelijkbare eigenschappen als ijzer, met

het verschil dat de gehalten mangaan meestal veel lager zijn en de oplosbaarheid in grondwater hoger is. Mangaan kan in opgeloste vorm reageren met kalk.

Bovengenoemde processen en minerale fasen zullen de meeste geo-chemische variatie verklaren.

Metingen

Metingen vonden plaats in de "mining mode". Deze methode is vanaf de fabriek gekalibreerd voor het meten van elementen in een (silicaat) oxide matrix. Gedurende 110 seconden worden vier spectra opgenomen met verschillende geoptimaliseerde energie instellingen voor "lichte" elementen (Mg tot Cl; 40 seconden; 8kV, geen filter) "lage" energie elementen (K tot V; 20 seconden; 20kV Cu filter), "gemiddelde" energie elementen (K lijnen van Cr tot Ag en L lijnen Hf tot Bi; 35 sec; 50 kV; Al filter) en "hoge" energie elementen Cd tot Ba (K lijnen; 15 sec; 50 kV ;Mo filter). De door het apparaat gevonden waarden zijn vervolgens in Microsoft Excel bewerkt en opnieuw gekalibreerd door gebruik te maken van 21 gecertificeerde bodem standaarden (WEPAL; ISE). De kalibratie lijnen zijn samengevat in Tabel 41.

21 WEPAL ISE Reference material monsters (www.wepal.nl)						
Hoofdelementen (van ppm naar oxides percentage)					Range	
	asafsnede	helling	r ²	std fout YX (ppm)	Min (ox%)	Max (ox%)
Si	21681,4	4129,4	0,93	9387,5	40,0	91,5
Al	13266,1	3178,2	0,86	5219,2	2,3	28,7
Ca	810,3	7927,8	1,00	2079,2	0,0	20,0
K	483,6	7936,8	0,98	908,2	0,0	2,5
Ti	435,4	5544,3	0,99	271,9	0,1	3,7
Fe	83,2	8535,1	1,00	901,3	0,3	11,6
Mn	-124,2	8348,4	0,95	118,5	0,0	0,2
Sporenelementen (ppm)					Min (ppm)	Max (ppm)
Zn	-11,0	1,1	1,00	7,0	9,0	1059,1
Cu	4,4	0,8	0,95	8,0	5,7	157,3
Pb	-10,4	1,2	1,00	5,0	4,9	303,3
Zr	-15,9	0,93	0,99	17,8	89,2	699,0
Sr	0,3	0,86	1,00	2,0	4,6	377,0
Rb	0,2	1,0	0,99	4,4	3,0	200,0
Ba	106,3	0,6	0,88	65,3	17,5	1058,2
ISE	885, 886, 889, 909, 910, 921, 930, 934, 944, 952, 958, 961, 962, 970, 972, 986, 992, 989, 997, 998, 999					

Tabel 41 Kalibratiefactoren elementen gebruikt in dit onderzoek. Hoofdelementen in oxide%, sporen elementen in ppm.

Fuzzy C-means clustering

Fuzzy C-means clustering is een methode om groepen te onderscheiden in kleine datasets en die minder dan klassieke cluster, factor of discriminantanalyse last heeft van uitliggers, multimodaliteit of het niet normaal verdeeld zijn van variabelen of overlap tussen de verschillende clusters (Vriend e.a. 1988). Deze clustermethode berekent telkens voor een gegeven aantal cluster centra de afstand (verwantschap) van de individuele waarnemingen tot deze centra. Het algoritme zorgt ervoor dat de som van de verwantschappen altijd 1 is. De afstand tussen de clusters wordt bepaald door een factor q waardoor de indeling hard kan worden gemaakt (q=1) of dat er geen onderscheid meer tussen de

clusters is vast te stellen ($q \rightarrow +\infty$). In het laatste geval vallen de clustercentra samen in het midden van de datawolk. Voor deze clustering is $q=1,5$ gebruikt. De clustercentra worden iteratief vastgesteld. Welke clustermodel (aantal clusters) het beste de data beschrijven kan worden vastgesteld aan de hand van de factoren F en H. Factor F drukt de intra ten opzichte van de inter-variatie van de clusters uit, de factor H geeft de entropie van het gehele clustermodel waarbij $H \rightarrow 0$ de meest significante clustering aangeeft (Bezdek, Ehrlich & Full 1984). Om tijdens het proces te controleren of de clusters niet te veel op elkaar lijken is ook *non linear mapping* (NLM) toegepast (Vriend e.a. 1988). Deze projecteert de multidimensionale dataset op een vlak waarbij de afstanden worden bepaald door de genormaliseerde euclidische afstand (Euclidian Norm). Wanneer de clusters samenvallen op de NLM-projectie komen de clustercentra meer overeen dan wanneer de clusters ruimtelijk afzonderlijk verdeeld zijn. Het geeft samen met de F en H factoren inzicht in de toepasbaarheid van het gevonden clustermodel.

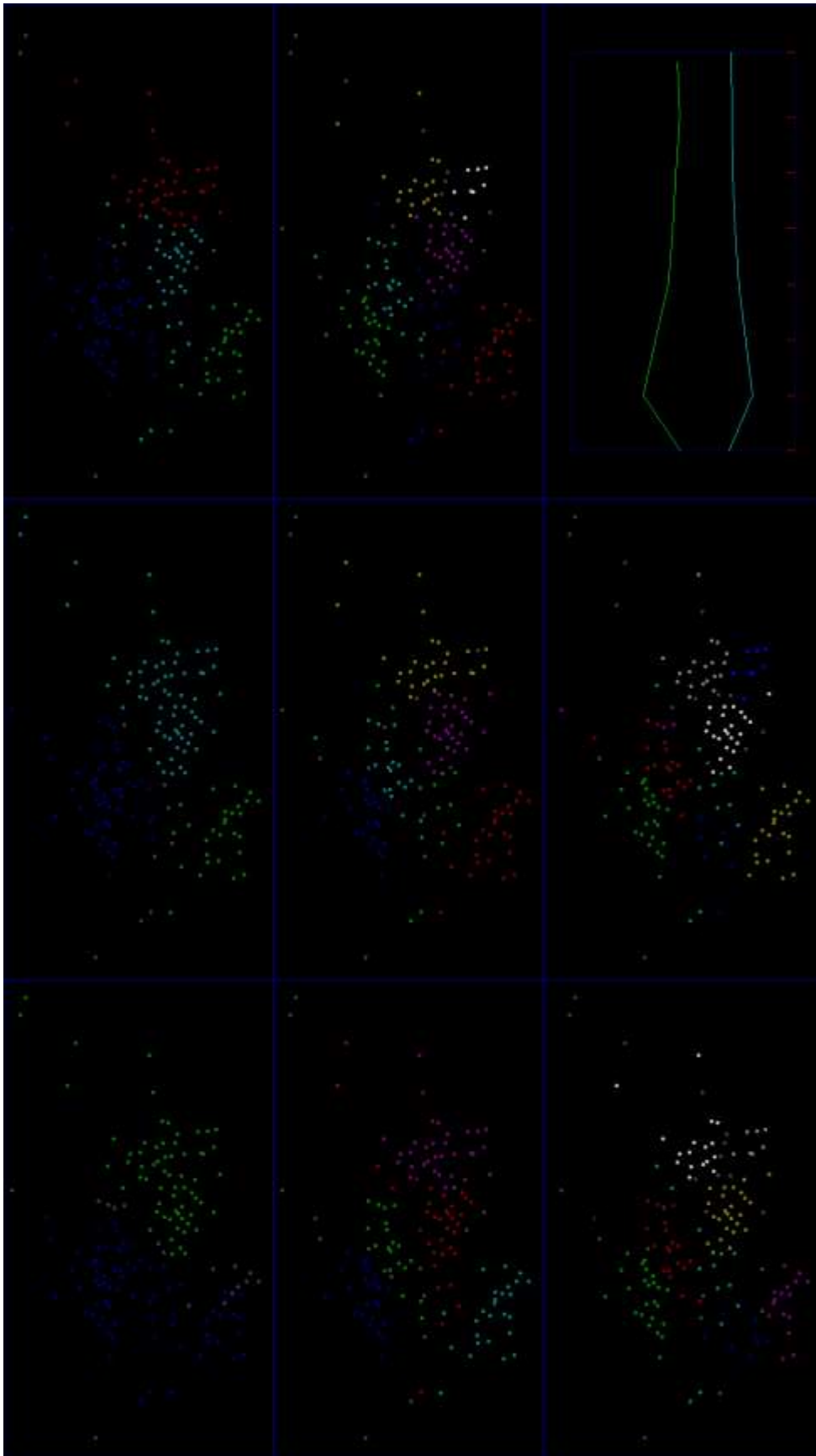
Baksel	Subgroep	Aantal	CaO	K2O	TiO2	Fe2O3	MnO	Zn	Zr	Sr	Rb	Nb
A	1	17	1,09	2,63	0,797	5,35	0,203	163	396	87	130	20
A	2	3	0,516	2,86	0,824	5,41	0,259	126	329	89	143	20
A	3	1	0,274	2,40	0,975	4,62	0,224	90	351	78	135	21
A	4	18	1,81	2,87	0,804	5,54	0,177	148	367	97	136	20
A	6	4	0,730	2,64	0,862	4,84	0,116	149	314	104	137	23
A	5	4	0,837	2,72	0,821	5,03	0,075	141	325	95	131	22
Totaal A		47	1,26	2,74	0,813	5,34	0,179	150	367	93	134	21
B	1	9	0,380	1,82	1,18	2,07	0,020	43	342	80	117	26
B	2	3	0,254	2,44	1,09	2,22	0,027	74	294	93	145	24
B	3	2	0,495	1,80	1,12	2,09	0,019	43	356	73	99	25
B	4	1	0,478	1,94	1,11	1,99	0,013	28	321	80	130	26
Totaal B		15	0,377	1,95	1,15	2,09	0,021	48	333	82	121	25
C	1	2	0,379	3,23	0,913	4,40	0,014	92	236	115	170	19
C	2	2	0,483	2,90	0,848	4,48	0,032	114	323	81	147	19
C	3	6	0,400	3,15	0,879	5,90	0,038	116	255	106	168	20
Totaal C		10	0,412	3,12	0,880	5,32	0,032	111	265	103	164	20
D	1	15	0,528	3,27	0,936	4,59	0,028	108	255	112	176	21
D	2	4	1,08	3,20	0,929	5,48	0,065	120	254	110	174	22
Totaal D		19	0,645	3,26	0,934	4,77	0,036	111	255	111	175	21
E	1	4	0,645	2,11	1,05	3,00	0,013	25	321	83	113	22
E	2	4	4,77	2,57	0,909	4,24	0,018	85	275	170	136	20
E	3	1	0,482	2,72	0,895	3,23	0,013	47	272	76	165	20
E	4	3	0,528	3,26	0,973	3,43	0,021	98	268	109	169	23
Totaal E		12	1,98	2,60	0,969	3,54	0,017	65	288	118	139	22
F	1	1	0,623	2,22	1,00	5,24	0,073	138	360	93	125	25
F	2	3	0,713	2,86	1,04	4,10	0,340	105	290	93	159	25
Totaal F		4	0,691	2,70	1,03	4,38	0,273	113	308	93	150	25
G	1	11	1,78	2,69	0,837	3,88	0,018	76	263	99	168	19
G	2	2	0,522	2,89	0,732	4,20	0,019	96	207	83	162	15
Totaal G		13	1,59	2,72	0,821	3,93	0,018	79	254	97	167	18
H	1	2	5,49	4,89	0,735	5,12	0,099	170	199	168	198	19
Totaal H		2	5,49	4,89	0,735	5,12	0,099	170	199	168	198	19
Eindtotaal		122	1,14	2,77	0,901	4,49	0,094	111	312	99	147	21

Tabel 42. Gemiddeldes van de gemeten elementgehalten voor de verschillende baksels en subtypes. De hoogste waarden per element per baksel zijn weer gegeven in donkerrood, waarden boven het gemiddelde variëren van donker rood naar geen kleur, waarden lager dan het gemiddelde van geen kleur naar donkergroen.

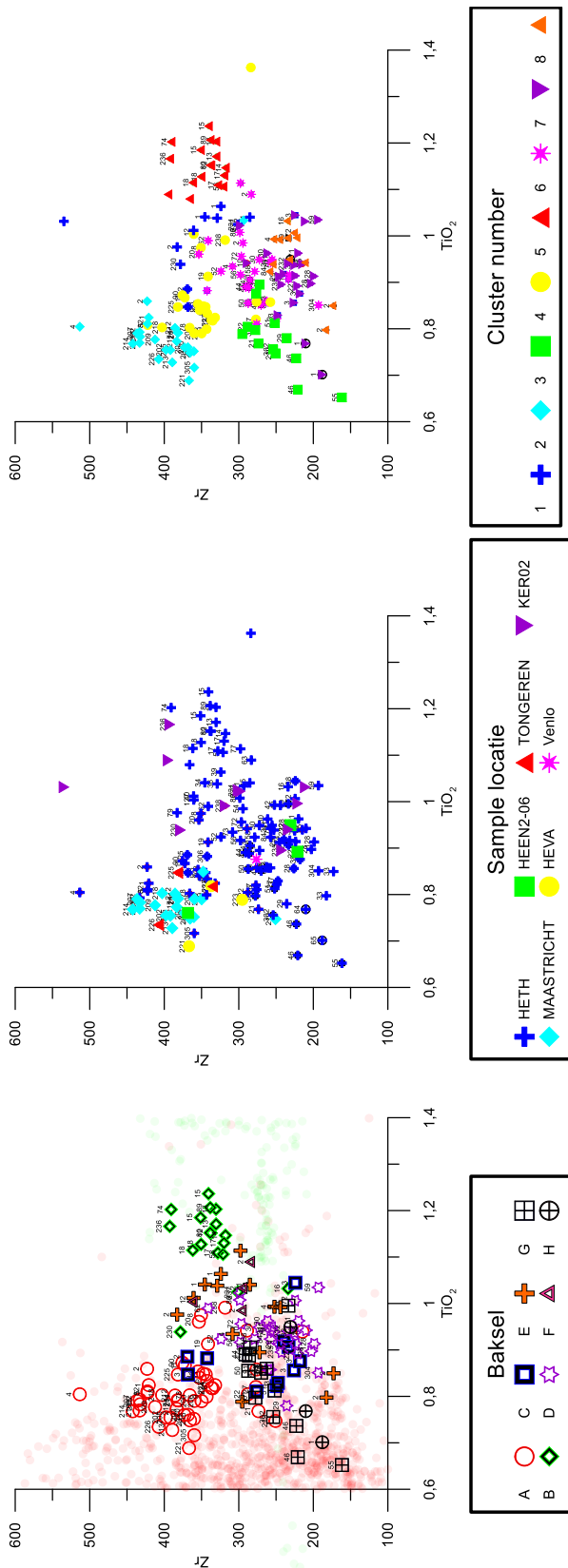
Cluster nr	aantal	Al2O3	CaO	K2O	TiO2	Fe2O3	MnO	Zn	Zr	Sr	Rb
1	11	16	0,626	2,01	1,000	3,08	0,029	58	341	76	112
2	25	16	1,65	2,67	0,783	5,28	0,223	150	394	91	126
3	13	17	1,21	2,65	0,813	4,20	0,048	88	267	96	152
4	25	19	1,16	2,76	0,840	5,48	0,145	164	354	95	140
5	17	20	0,393	1,88	1,14	2,12	0,022	45	344	78	117
6	27	20	0,680	3,05	0,910	4,22	0,033	93	277	101	166
7	22	22	0,556	3,34	0,920	5,60	0,070	130	236	119	179
8	12	23	0,609	3,36	0,970	3,82	0,040	113	240	122	182

Tabel 43 Cluster centra Fuzzy c means analyse, 10 variabelen 8 clustermodel.

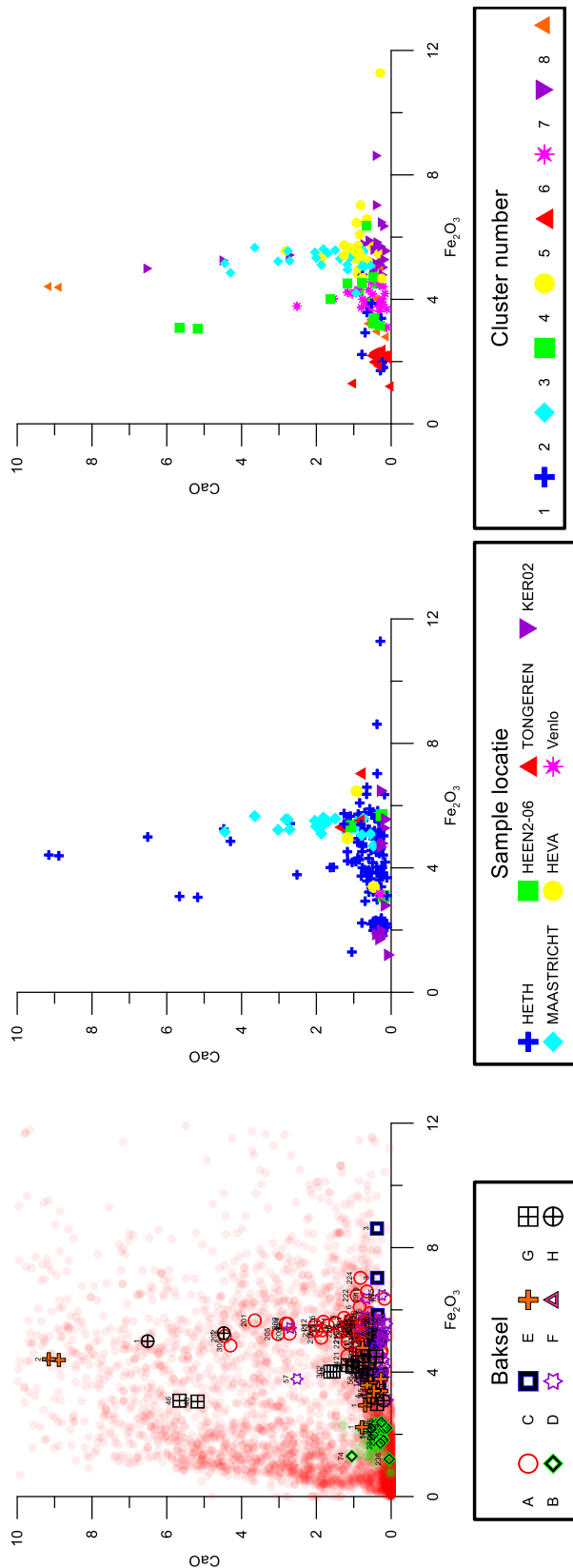
Zowel in clusters als in baksels valt op dat de elementen TiO₂ en Zr sterk verschillen. In Figuur 123 staan deze elementen tegen elkaar geplot, per baksel, cluster en per sample locatie. In het baksel figuur is in de achtergrond de variatie geplot zoals gevonden in boringen van heel Nederland (unpublished data TNO geologische Dinst/ Dinoloket) (rood) en van de Brunsummer klei bemonsterd in een groeve bij Brunssum in 1995 (groen) ((Huisman e.a. 2000).



Figuur 122 NLM mapping van de verschillende clustermodellen; Links boven 2 clusters, rechts onder 9 clusters. De laats figuur geeft de variatie van de factoren F en H weer.



Figuur 123 Variatie TiO₂ Zr per baksel, sample locatie en cluster. In het Baksel diagram staan in de achtergrond waardes weergegeven (rood) gemeten in Nederlandse grondboringen (Huisman/ van Os unpublished data en Dinoloket). In het groen staan waardes gemeten van een groeve in de Brunssumer klei (Huisman e.a. 2000).



Figuur 124 X-Y diagrammen van Fe₂O₃ versus CaO. In het Baksel diagram staan in de achtergrond waardes weergegeven (rood) gemeten in Nederlandse grondboringen (Huisman/ van Os unpublished data en Dinoloket). In het groen staan waardes gemeten van een groeve in de Brunssummer klei (Huisman e.a. 2000).

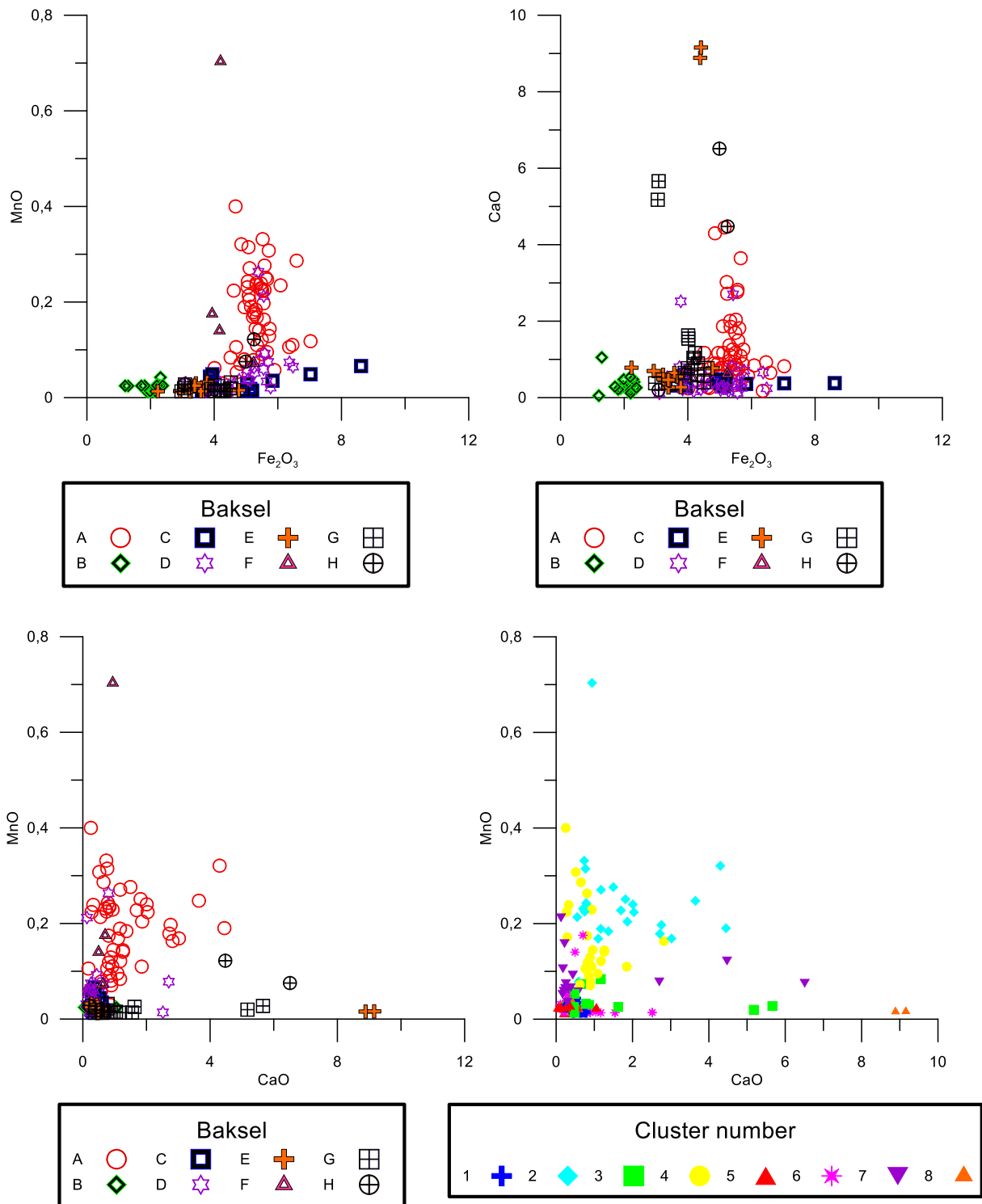
In Figuur 123 is te zien dat baksel indeling en de cluster indeling elkaar goed volgen. De bakselgroep A is op te delen in cluster 2 en 4 waarbij opvalt dat de samples uit cluster 2 voornamelijk uit Maastricht afkomstig zijn en de samples uit cluster 4 voornamelijk uit Heerlen. Baksel B met het hoge TiO₂ komt overeen met Cluster 5. De C baksels zijn op basis van deze elementen niet te onderscheiden. In Tabel 44 staat de cluster verdeling per baksel.

#	Cluster Nummer								
Baksel	1	2	3	4	5	6	7	8	Totaal
A		24	3	22		1	2		52
B	2				15			1	18
C	2					4	5		11
D			1	1		11	12	4	29
E	6		2			2		4	14
F		1		1		2			4
G			6			6		1	13
H							2	1	3
Totaal	10	25	12	24	15	26	21	11	144

Tabel 44 Cluster verdeling voor de verschillende baksels. De aantallen komen niet geheel overeen met tabel 2 omdat aan sommige monsters geen baksel is toegekend.

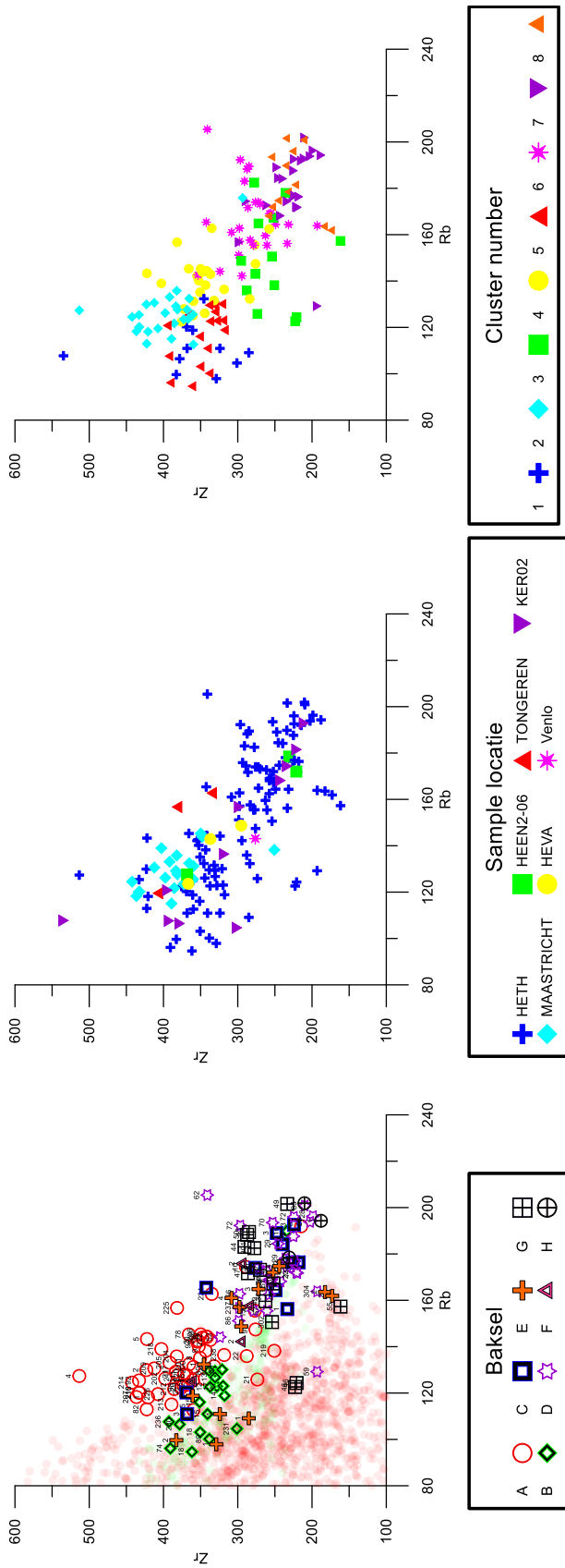
Baksel C en D vallen beide in cluster 6 en 7, die echter weinig onderscheidend van elkaar zijn. Ook bakselgroep E is niet echt goed chemisch in te delen. Bakselgroepen F en H zijn te klein om een echte uitspraak over te doen. Baksel G tenslotte lijkt te verdelen over de clusters 3 en 6 waarbij cluster lage TiO₂ en Zr gehalten kent en cluster 6 net iets hogere.

In de Fe₂O₃ versus CaO plot zijn ook verschillende bakselgroepen goed te onderscheiden. Bakselgroep B die behalve het laatste TiO₂ gehalte heeft, valt ook op door het laagste Fe₂O₃ gehalte. Dit baksel is ook het bleekst. Bakselgroep A valt op door de grote variatie in CaO. Het betreft echter bijna alleen de Maastrichtse monsters die die hogere CaO gehalte hebben. Het zijn dezelfde monsters die vallen in cluster 2. Bakselgroep. De monsters uit bakselgroep D en G die beide cluster 6 zijn toegewezen, hebben allen een ijzergehalte dat rond de 4% valt. De overige monsters van vooral bakselgroep D vallen in cluster 7 en hebben een hoger ijzergehalte van bijna 6%. Om te zoomen op het Fe₂O₃ CaO verschil dat vooral voor bakselgroep A van belang is zijn deze elementen ook beide tegen MnO geplot dat zowel met het geo-chemisch gedrag van Fe₂O₃ als van CaO kan samenhangen (Figuur 124).

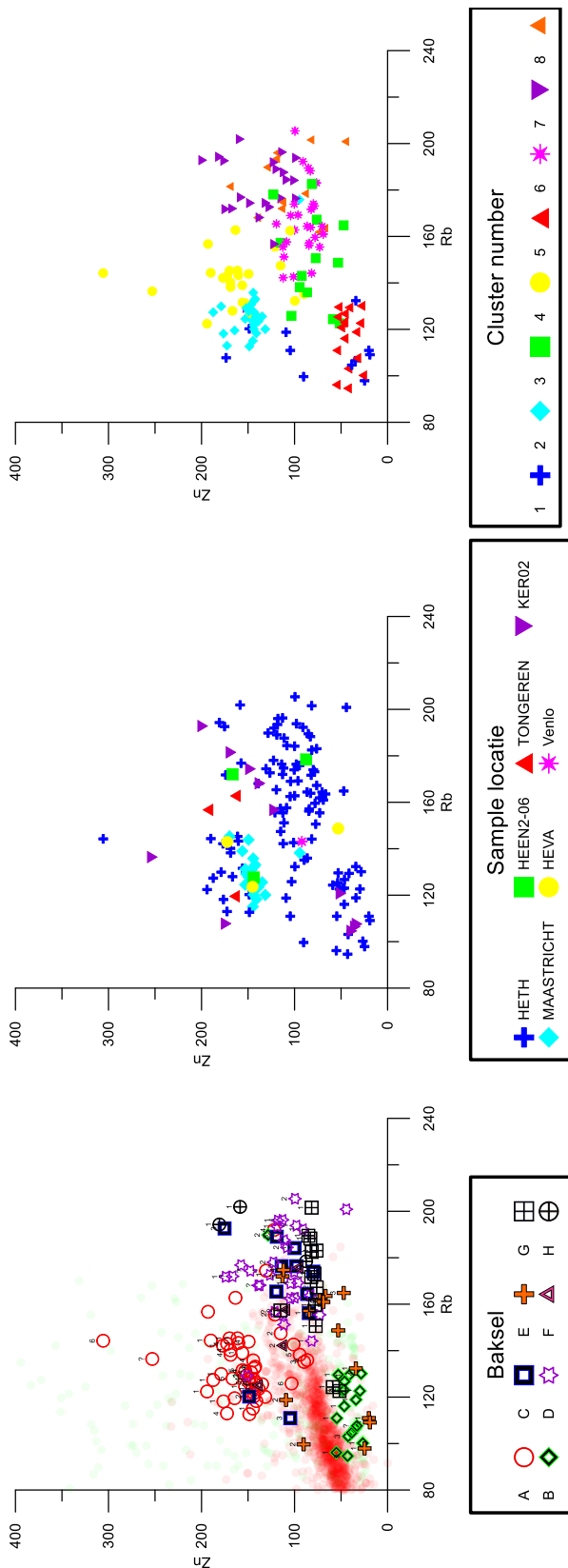


Figuur 125 X-Y diagrammen van CaO, Fe₂O₃ en MnO per bakselgroep en voor CaO tegen MnO per cluster.

In Figuur 125 is verder te zien dat Bakselgroep A verder is onder te verdelen in hoge MnO groep en een lage. Deze groepen komen beide op de locaties Heerlen en Maastricht voor, maar vaker in Maastricht (cluster 2). Tussen de verschillende elementen zijn geen eenduidige verbanden aan te wijzen, wat suggereert dat ze onafhankelijk (geo-chemisch) gedrag vertonen.



Figuur 126 X-Y diagram van Rb versus Zr. In het Baksel diagram staan in de achtergrond waarden weergegeven (rood) gemeten in Nederlandse grondboringen (Huisman/ van Os unpublished data en Dinoloket). In het groen staan waarden gemeten van een groeve in de Brunssum.



Figuur 127 Variatiediagrammen van Zn versus Rb per bakselgroep, sample locatie en cluster. In het Baksel diagram staan in de achtergrond waarden weergegeven (rood) gemeten in Nederlandse grondboringen (Huisman/ van Os unpublished data en Dinoloket). In het groen staan waarden gemeten van een groeve in de Brunssummer klei (Huisman e.a. 2000).

In Figuur 126 is Rb tegen Zr uitgezet voor de verschillende bakselgroepen, locaties en clusters. Rb vertoont een negatieve correlatie met Zr. Dit komt omdat Rb aanwezig is in kleimineralen en waarschijnlijk in een fijnere fractie dan Zr dat vooral voorkomt in het zware mineraal zirkoon dat voornamelijk in de silt fractie voorkomt. De gemeten monsters vallen grofweg uiteen in twee groepen; een hoog zirkoon laag Rb groep, waar vooral Baksels A en B deel van uit maken en een hoog Rb laag Zr groep die gedomineerd wordt door baksels C en D. Ook de clusters laten zich goed verdelen over de twee groepen. Clusters 1, 2, 4 en 5 representeren de laag Rb hoog Zr groep en clusters 3, 6, 7 en 8 vallen in de hoog Rb laag Zr groep. Binnen de twee groepen zijn de clusters goed te onderscheiden. In de hoog Rb laag Zr groep geldt dit in mindere mate voor cluster 3 dat vooral een grotere variatie dan de andere clusters in Rb heeft. Dit cluster bevat overwegend monsters uit bakselgroep G.

In de Zn versus Rb plot (zie Figuur 127) is goed te zien dat bakselgroep A boven het bereik van de normale Zn/Rb verhouding valt ten opzichte van de boringen set van de Nederlandse ondergrond. De monsters uit bakselgroep A uit Maastricht hebben een iets lager Zn gehalte dan die uit Heerlen. Ook de bakselgroep B valt buiten dit bereik. Deze monsters hebben juist een lager zinkgehalte dat verwacht mag worden bij de voorkomende Rb gehalten. Verder valt op dat de Rb gehalten aan de hoge kant zijn vergeleken met die gevonden in de boringen set van de Nederlandse ondergrond. Dit geldt vooral voor bakselgroep C, D en E (clusters 6, 7 en 8).

