



VIJFTIG TINTEN BRONS

EEN XRF-ONDERZOEK VAN BRONZEN KOOKPOTTEN

Drents



© Copyright

Auteur: Amber Bolland

Studentnummer: 320766

Jaar van uitgave: 2019

INHOUDSOPGAVE

Inhoudsopgave	2
Voorwoord	4
Samenvatting.....	5
1. Inleiding	6
2. De probleemstelling	7
2.1 Hoofdvraag	7
2.2 Deelvragen	7
2.3 Micro-, meso- en macro-niveau.....	7
3. Methoden en technieken.....	9
3.1 Literatuuronderzoek.....	9
3.2 XRF-onderzoek.....	9
3.2.1 Werking van XRF.....	9
3.2.2 Methode van meten.....	11
3.3 Statistiek en analyses	13
3.3.1 Programma's	13
3.3.2 Analyses.....	13
3.3.3 Statistiek.....	13
4 Resultaten	14
4.2 Resultaten literatuuronderzoek.....	14
4.2.2 De periodieke tafel van elementen.....	17
4.2.3 Lood	18
4.2.4 Tin	18
4.2.5 Antimoon	18
4.2.6 Zink	18
4.2.7 Koper.....	19
4.2 Totale populatie	20
4.2.1 Pb.....	21
4.2.2 Sn.....	22
4.2.3 Sb.....	23
4.2.4 CU	24
4.2.5 Zn	25

4.3 Vergelijkende analyse	26
4.4 Conclusie vergelijkende analyse	29
5. Conclusie	30
5.1 Dateringen	30
5.2 Maker van de pot	30
5.3 Handelsroutes.....	31
5.4 Maakwijze van de pot	31
5.5 hoofd- en deelvragen	31
6. Discussie en aanbevelingen	33
Literatuurlijst	34
Bijlagen.....	36
Bijlage 1.....	36
Bijlage 2.....	37

VOORWOORD

Voor u ligt de scriptie 'Vijftig tinten brons: een X-ray fluorescentie (XRF-) onderzoek naar bronzen kookpotten uit de Middeleeuwen.' Het onderzoek dat is verricht voor de scriptie is uitgevoerd met dank aan de Rijksdienst van Cultureel Erfgoed (RCE), voornamelijk Bertil van Os. Daarnaast is het onderzoek verricht met dank aan het Drents Museum en met veel dank aan Vincent van Vilsteren. De scriptie die voor u ligt is geschreven in het kader van mijn afstudeeronderzoek van de opleiding HBO archeologie aan de Saxion Hogescholen en in opdracht van het Drents Museum.

Samen met mijn afstudeerbegeleider, Roeland Emaus, heb ik de probleemstelling opgesteld en hier onderzoeksvragen bij bedacht. De complexiteit van het onderzoek was groot. Het is een onderzoeksvorm die nog niet vaak is gebruikt waardoor er dan ook weinig literatuur over te vinden is. Tijdens dit onderzoek stond mijn afstudeerbegeleider, Roeland Emaus, voor mij klaar en heeft hij mij gewezen op andere literatuur waardoor ik weer verder kon.

Bij deze wil ik graag mijn begeleider bedanken voor de begeleiding. Ook wil ik Bertil van Os en Vincent van Vilsteren bedanken voor de ondersteuning en de begeleiding met dit lastige onderwerp. Daarnaast wil ik ook mijn vriend, Stan Oosterbosch, bedanken voor het feit dat hij altijd in mij is blijven geloven. Verder wil ik ook graag Jehlane Wilson, Kim Smale en Frank Pieters bedanken voor heel erg veel lachmomenten waardoor ik toch het gevoel had dat alles goed kwam. Ik wil hun ook ten zeerste bedanken voor alle morele steun, zelfs wanneer zij zich dat niet realiseerden. Als laatste wil ik mijn vader, Dirk Bolland, in het bijzonder bedanken voor zijn ongeloofelijke steun, het goede advies en het feit dat hij nooit van mijn zijde is geweken.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Amber Bolland
3 juli 2019, Assen

SAMENVATTING

Het onderwerp van het onderzoek is de toepassing van een XRF-onderzoek op bronzen kookpotten. De bronzen kookpotten die gemeten zijn komen uit grote collecties uit Nederlandse musea en depots. Het doel van het onderzoek was het achterhalen van de samenstelling van het brons van kookpotten. Er zijn nog geen onderzoeken gedaan met de XRF naar de samenstelling van het brons van kookpotten in Nederland. Met dit onderzoek is hier verandering in gebracht.

De werking van een XRF-apparaat bestaat uit drie onderdelen. Het eerste onderdeel is de buis. De buis genereert de röntgenstralen die op de bronzen kookpotten zijn gericht. De bronzen kookpotten absorberen vervolgens de stralen en kaatsen de straling weer terug. Hier komt energie bij vrij. Deze energie wordt opgevangen door de detector van de XRF. De detector zet de energie om in elektrische pulsen. Deze pulsen worden vervolgens via de interne computer omgezet naar de percentages van de elementen die aanwezig zijn in de bronzen kookpotten.

Uit de resultaten van de metingen is gebleken dat er geen datering mogelijk is aan de hand van alleen XRF-onderzoek. Wel blijkt aan de hand van het XRF-onderzoek dat er weinig zink in het brons van de potten zit, hetgeen duidt erop dat bij het maken van de potten geen gerecycled materiaal gebruikt is. Verder is de verhouding tussen het antimoon en het tin in de potten nagenoeg gelijk. De vraag is of dit met opzet is gedaan, en zo ja, waarom dit dan met opzet is gedaan. Tin is een goede bescherm laag voor lood en antimoon wordt vaak gebruikt om lood duurzamer te maken. Juist deze twee elementen hebben belangrijke eigenschappen om een bronzen kookpot zo lang mogelijk te kunnen blijven gebruiken. Juist het feit dat deze gehalten zo laag zijn is interessant. Verder is gebleken dat de Nederlandse bronzen kookpotten een veel hoger loodgehalte hebben dan bronzen kookpotten in Frankrijk. De potten in Frankrijk bevatten maximaal 25 procent lood. De Nederlandse potten bevatten in sommige gevallen 51 procent aan lood. Hieruit is op te maken dat er verschillende maken/mengingen van het brons werden gehanteerd per regio.

De resultaten wijzen tot slot uit dat er geen onderscheid is in clusters van de Nederlandse collecties. De bronzen kookpotten hebben allemaal nagenoeg dezelfde elementaire karakteristieken. Er zijn hier uiteraard wel uitzonderingen. In het onderzoek is gebruik gemaakt van drie verschillende collecties uit drie verschillende regio's, Drenthe, Friesland en Noord-Holland. Echter, er zijn geen eenduidige clusters te onderscheiden. Dit was wel een eerdere verwachting.

Uit dit onderzoek blijkt dat de informatie uit een XRF-onderzoek veel extra informatie geeft die men niet aan de buitenkant van de pot kan aflezen. Een datering kan weliswaar niet, maar zo is er wel ontdekt dat er geen sprake van recycling lijkt te zijn in de potten, dat de samenstelling van het brons van de potten per regio/land erg kan verschillen en dat de Nederlandse potten allemaal nagenoeg dezelfde elementaire samenstelling hebben. Tenslotte kan er geconcludeerd worden dat met extra isotopenonderzoek de XRF-gegevens goed van pas kunnen komen voor het uitzoeken van dateringen, handelsroutes en maakwijzen.

1. INLEIDING

Het Drents Museum is opgericht in 1854. Indertijd was de naam nog het Provinciaal Museum van Oudheden. Het museum begon met één kast voor de gehele collectie. 50 jaar later, in 1901, verhuisde de collectie naar een ander gebouw. Tegelijkertijd werd de naam veranderd naar Provinciaal Museum van Oudheden en Geschiedkundige voorwerpen. In 1916 verbond professor Van Giffen zijn naam aan het museum om archeologische onderzoeken uit te mogen voeren in Drenthe. Hierdoor was en is het museum één van de beste en (internationaal) bekendste archeologische musea van Nederland. Het museum werd steeds verder uitgebreid en er werden meer gebouwen toegevoegd. In 2011 is er nog een nieuwe vleugel bijgebouwd waarin een grote tentoonstellingszaal werd gerealiseerd.¹

De missie van het Drents Museum is jong en oud blijven inspireren wat betreft archeologie, kunst en geschiedenis.² Verder is het doel van het museum om de eigen collectie uit te breiden en de collectie die er al is in stand te houden en te conserveren.³

Een medewerker van het Drents Museum, Vincent van Vilsteren, is als conservator archeologie bezig met een langjarig onderzoek naar bronzen kookpotten. Om bronzen kookpotten goed te kunnen onderzoeken is het idee om gebruik te maken van een onderzoeksmethode genaamd XRF geopperd. Deze methode is bedoeld om de exacte samenstelling van materialen te kunnen bepalen. De methode werkt door röntgendiffractie. Met behulp van röntgenstralen wordt de structuur van vaste stoffen bepaald. Uit de patronen die door de röntgenstralen worden vastgesteld kan de positie van atomen in moleculen worden bepaald. Hierdoor is het mogelijk om te bepalen wat de exacte samenstelling van brons is. Hierdoor kan bijvoorbeeld de herkomst van het brons worden achterhaald en/of de plek waar het voorwerp gemaakt is. Voor dit onderzoek zal ik verscheidene collecties van bronzen kookpotten in Nederland bezoeken en deze blootleggen aan XRF-onderzoek.

XRF-onderzoek naar bronzen kookpotten in Nederland is nog niet eerder gedaan. Hierdoor is het onderzoek complex aangezien er weinig Nederlandse literatuur beschikbaar is. Echter, in Frankrijk is wel een onderzoek⁴ gedaan naar bronzen voorwerpen, waaronder bronzen kookpotten. Hierbij is op te merken dat het onderzoek niet volledig gericht is op alleen bronzen kookpotten uit de Middeleeuwen.

¹ <https://drentsmuseum.nl/organisatie/geschiedenis>

² <https://drentsmuseum.nl/nl/organisatie/missie-visie-en-beleid>

³ <https://drentsmuseum.nl/nl/organisatie/anbi>

⁴ Thomas *et al* 2014, pagina 50.

2. DE PROBLEEMSTELLING

Het onderwerp van het onderzoek is het toepassen van een XRF-onderzoek op bronzen kookpotten. De bronzen kookpotten die onderzocht worden komen uit de grote collecties uit Nederlandse musea en depots. Het gaat daarbij uitsluitend om bronzen kookpotten uit archeologische contexten. Deze keuze is gemaakt vanwege het vervolgonderzoek dat Van Vilsteren graag wil uitvoeren. Hierbij is het belangrijk dat er een archeologische context aanwezig is. De onderzoeksopdracht richtte zich volledig op de XRF-dataverzameling, de relatie tot de archeologische contexten zal in een vervolgonderzoek door Van Vilsteren onderzocht worden. De aanleiding voor het onderzoek is dat Van Vilsteren al meerdere jaren onderzoek doet naar bronzen kookpotten. In het buitenland zijn er al meerdere onderzoeken geweest naar de samenstelling van het materiaal van de potten.⁵ In Nederland zijn er echter pas vier potten onderzocht op deze wijze.⁶

2.1 HOOFDVRAAG

De hoofdvraag die ik mijzelf tijdens dit onderzoek zal stellen, luidt als volgt: Welke informatie levert XRF-onderzoek naar de samenstelling van bronzen kookpotten uit Nederlandse depots op?

2.2 DEELVRAGEN

Om de hoofdvraag goed te kunnen beantwoorden heb ik een aantal deelvragen opgesteld om mij daarbij te kunnen helpen. De deelvragen betreffen:

1. Wat is de samenstelling van het materiaal van de bronzen kookpotten van het Drents Museum?
2. Wat zijn de verschillen in samenstelling van het materiaal van de kookpotten tussen de verschillende Nederlandse collecties van bronzen kookpotten?
3. Wat is de samenstelling van bronzen kookpotten in omliggende landen (Frankrijk, Engeland, Duitsland, Denemarken)?
4. Wat kan er, met de informatie uit deelvraag 3, gezegd worden over de kookpotten in Nederland?
5. Welke informatie over ouderdom, herkomst en fabricage kan worden afgeleid uit de chemische samenstelling van bronzen potten?
6. Wat is de precieze werking van röntgendiffractie?
7. Wat is de toegevoegde waarde van het gebruik van XRF in het archeologische werkveld, zowel binnen als buiten Nederland?

2.3 MICRO-, MESO- EN MACRO-NIVEAU

Analyse (Micro)

1. Wat is de samenstelling van het materiaal van de bronzen kookpotten van het Drents Museum?
2. Wat zijn de verschillen in samenstelling van het materiaal van de kookpotten tussen de verschillende Nederlandse collecties van bronzen kookpotten?

⁵ Thomas *et al* 2014, pagina 50.

⁶ Van Os, gesprek 05-04-2016.

Interpretatie (Meso)

3. Wat is de samenstelling van bronzen kookpotten in omliggende landen (Frankrijk, Engeland, Duitsland, Denemarken)?
4. Wat kan er, met de informatie uit deelvraag 3, gezegd worden over de kookpotten in Nederland?

Aanvulling (Macro)

5. Welke informatie over ouderdom, herkomst en fabricage kan worden afgeleid uit de chemische samenstelling van bronzen potten?
6. Wat is de precieze werking van röntgendiffractie?
7. Wat is de toegevoegde waarde van het gebruik van XRF in het archeologische werkveld, zowel in als buiten Nederland?

Bij dit onderzoek zijn de onderzoeksvragen ingedeeld in micro-, meso- en macroniveau. Het doel hiervan is om een breder beeld te krijgen van het onderwerp. Tevens zijn de deelvragen per onderwerp ingedeeld.

In de komende hoofdstukken zal er onderzoek worden verricht om deze hoofd- en deelvragen te beantwoorden. Het eerste hoofdstuk dat hierna volgt is het hoofdstuk methoden en technieken. Hierin wordt het literatuuronderzoek besproken, de elementen, de werking van de XRF, en de statistiek en analyses. Vervolgens komt het hoofdstuk resultaten. Hierin worden de resultaten van de XRF-metingen besproken, te beginnen de losse elementen, gevolgd door vergelijkende analyse van meerdere elementen. Daarna komt de conclusie van het onderzoek. Als laatste hoofdstuk komen de discussie en aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

3. METHODEN EN TECHNIEKEN

De methoden en technieken die gebruikt zijn voor het onderzoek zijn op te splitsen in vier onderdelen. De onderdelen bestaan uit een literatuuronderzoek, XRF-onderzoek, een beschrijving van de elementen en de statistiek en analyse die is toegepast op de informatie uit het XRF-onderzoek. In dit hoofdstuk zullen die vier methoden beschreven worden.

3.1 LITERATUURONDERZOEK

Er is gebruik gemaakt van een literatuuronderzoek om meer informatie te verkrijgen over het meten met een XRF, andere XRF-onderzoeken en bronzen kookpotten. Voor het onderzoek naar literatuur is er voornamelijk gebruik gemaakt van het internet. De artikelen die V. Van Vilsteren zelf heeft geschreven zijn afkomstig uit zijn eigen privé collectie.⁷ In eerste instantie was het literatuuronderzoek vooral gericht op het vinden van onderzoeken die gericht zijn op bronzen kookpotten in het algemeen.⁸ Hiervan is voornamelijk gebruik gemaakt van de onderzoeken van V. van Vilsteren.⁹ Van Vilsteren is al meerdere jaren bezig met het onderzoeken van bronzen kookpotten.¹⁰ Vervolgens is er gezocht naar literatuur over XRF-onderzoek in het algemeen. Daarna is er gezocht naar XRF onderzoek waarbij bronzen kookpotten/voorwerpen zijn onderzocht. In hoofdstuk 4.1 is een verdere uitleg over de literatuur en de resultaten van het literatuuronderzoek. De volgende deelvragen worden beantwoord met het literatuuronderzoek:

3. Wat is de samenstelling van bronzen kookpotten in omliggende landen (Frankrijk, Engeland, Duitsland, Denemarken)?

4. Wat kan er, met de informatie uit deelvraag 3, gezegd worden over de kookpotten in Nederland?

7. Wat is de precieze werking van röntgendiffractie?

3.2 XRF-ONDERZOEK

3.2.1 WERKING VAN XRF

De afkorting XRF staat voor X-ray fluorescence, oftewel, röntgenfluorescentiespectrometrie. Een draagbare XRF heeft verschillende onderdelen waardoor het apparaat kan meten. De onderdelen en de functies die daarbij horen zullen hieronder worden beschreven.

Het eerste onderdeel is de röntgenbuis zoals te zien in figuur 2. De buis genereert röntgenstralen. Deze stralen worden gericht op het object dat moet worden gemeten. Het object absorbeert vervolgens de stralen. Dit gebeurt doordat de atomen van de verschillende elementen van het object de stralen absorberen.

Bij het hierboven beschreven proces komt energie vrij. De energie die vervolgens vrijkomt veroorzaakt een weerkaatsende straal die gerelateerd is aan het element zelf waar de straal door is geabsorbeerd.

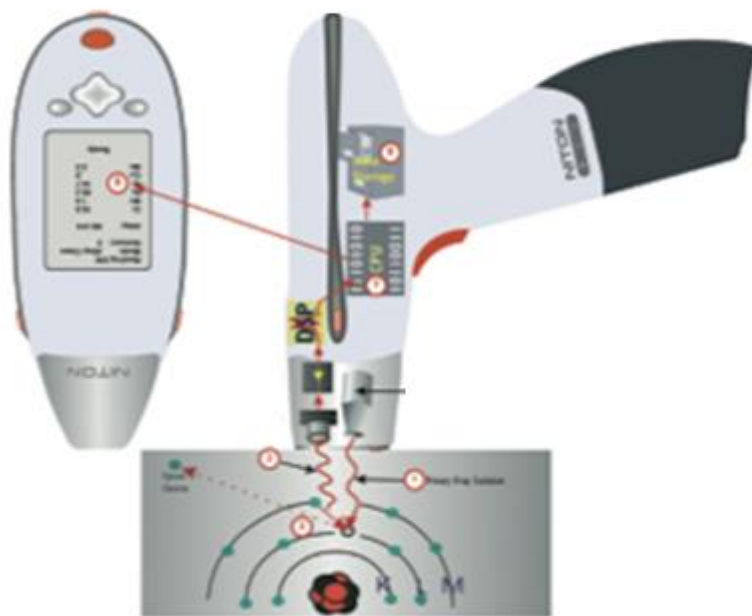
⁷ Van Vilsteren 1998, pagina 142-170.

⁸ Van Vilsteren 2007, pagina 2-14.

⁹ Van Vilsteren 2008, pagina 32-42.

¹⁰ Van Vilsteren 2014, pagina 97-105.

Ieder element in het object heeft zijn eigen karakteristieke energie. Deze energie wordt vervolgens opgevangen door de zogenaamde Si PIN-detector in het XRF-apparaat. De detector reageert op deze terugkomende straling door deze te converteren naar elektrische pulsen. Deze elektrische pulsen staan direct gelijk aan de karakteristieken van de straling. De pulsen geven informatie over de aanwezige elementen in het object. Daarnaast geven deze pulsen nog extra informatie. Elk element heeft zijn eigen hoeveelheid pulsen. Hierdoor kan de concentratie van de aanwezige elementen gemeten worden. Vervolgens worden de pulsen gedigitaliseerd in de interne computer van het XRF-apparaat, waar vervolgens berekeningen worden gemaakt van de teruggestraalde energie. Hierdoor kan er uiteindelijk op het scherm van het XRF-apparaat worden uitgelezen welke elementen en hoeveel er van deze elementen exact aanwezig zijn in het gemeten deel van het object.¹¹ In figuur 2 is een schematische tekening te zien van de werking van een XRF-apparaat.



FIGUUR 1: WERKING VAN DE XRF. <https://www.alurvs.nl/roestvast-staal/artikellijst/761/>

Het apparaat dat uiteindelijk in het onderzoek is gebruikt is de Niton xl3t gold+. Dit XRF-apparaat is gemaakt door het bedrijf Thermo Scientific. Het model heeft een touchscreen, analyseert snel en de data kan makkelijk worden overgezet op de computer. Daarnaast is er wel het gevaar van oververhitting wanneer er in de zomer metingen worden verricht. Het is dan ook aan te raden om in een ruimte te meten waar het ongeveer 15° C is. Bij oververhitting moet het apparaat om de paar metingen kort afkoelen. Dit heeft echter geen invloed op de snelheid van het apparaat en de informatie die wordt geanalyseerd. In bijlage 1 is een figuur te vinden met hierop de specificaties van de Niton xl3t gold+. Er zijn verschillende soorten XRF-apparaten te koop voor diverse toepassingen. Hierbij ligt het verschil voornamelijk in de software. Alle XRF-apparaten geven dezelfde metingen bij het meten, maar een apparaat dat specifiek is ingesteld op bepaalde elementen m.b.v. andere software kan een meting geven met meer gegevens.

¹¹ <https://www.alurvs.nl/roestvast-staal/artikellijst/761/>, 03-04-2017.

3.2.2 METHODE VAN METEN

Voor het meten van de bronzen grappen van het Drents Museum is gebruik gemaakt van de NitonXL3t gold +. Als men wil gaan meten met de NitonXL3t moet men het apparaat dicht op het object zetten. In dit geval zijn dat bronzen grappen. Hierbij het liefst een stuk op een grape waarbij er geen bolling is. Als je het apparaat op de pot zet, moet je er zeker van zijn dat het apparaat niet kan wegglijden of dat het object, de grape, van zijn plek beweegt. Wanneer de XRF van zijn plek van het object afkomt mislukt de meting. Om te beginnen met meten moet de knop tijdens de gehele meting worden ingedrukt. Als deze los wordt gelaten mislukt de meting ook. Elke meting duurt in totaal 55 seconden. Op de 28^{ste} seconde wordt met een piep aangegeven dat de meting op de helft is. Bij de 55^{ste} seconde wordt op het beeldscherm aangegeven dat de knop losgelaten mag worden.

Aan elke XRF-meting wordt automatisch een uniek nummer toegekend. Om aan te geven welk nummer van het apparaat hoort bij welk nummer van het Drents Museum, zijn deze omgezet in een Excel bestand om verwarring te voorkomen. Het ziet er dan als volgt uit:

Nummer	Nummer Drents museum	Nummer RCE	Positie	Corrosie	Opmerkingen
H1992-695	DR-28	303	Buik	Nee	
		304	Buik	Ja	
		305/Mislukt	Poot	/	
		306/Mislukt	Poot	/	
		307/Mislukt	Poot	/	
		308	Poot	Nee	
		309	Oor bovenkant	Nee	
		310/Mislukt	Oor zijkant	/	
		311	Oor zijkant	Nee	
H1890-4	DR-17	312	Buik	Nee	
		313	Poot	Nee	
		314	Oor zijkant	Nee	

FIGUUR 2: VOORBEELD EXCEL LIJST MET NUMMERS.

Het eerste nummer, in dit geval een H-nummer, is het nummer dat het Drents Museum het object heeft gegeven bij binnenkomst. De cijfers achter de H staan voor het jaar waarop de vondst is binnengebracht. Hierbij staat H1890 er dus voor dat de vondst in het jaar 1890 aan het Drents Museum is gegeven. In de volgende kolom staat het nummer dat het Drents Museum tegenwoordig uitdeelt aan vondsten in haar collectie. Hierbij staat DR voor Drents en de cijfers staan voor de chronologische volgorde wanneer de vondst aan het Drents museum is gegeven. Hierbij is DR-17 dus de 17^{de} grape die aan het Drents Museum is gegeven. In de derde kolom staat het RCE nummer, oftewel het nummer van de XRF dat het apparaat aan de meting heeft gegeven. De metingen die niet gelukt zijn worden ook opgenomen in de kolom, deze kunnen er anders niet op een later moment worden uitgefilterd. In de vierde kolom staat aangegeven op welk punt van de grape een meting is gedaan en in de vijfde kolom of er op deze positie corrosie aanwezig is. De corrosie wordt niet door de XRF zelf aangegeven, maar hiervoor is een aparte kolom toegevoegd in de Excel-lijst om te kunnen zien of er door de corrosie andere waarden worden gemeten.

Vanwege de hoeveelheid grappen en de tijd die ter beschikking stond voor de metingen, is besloten om drie metingen uit te voeren bij elke grape. Hierbij gaat het dan om de buik, het oor en een poot. Bij sommige grappen kan het voorkomen dat er geen poten of geen oren aanwezig zijn. Hier zijn dan ook maar twee metingen uitgevoerd. Verder is er besloten dat wanneer er een zichtbare reparatie aan de pot heeft plaatsgevonden, dat deze ook gemeten wordt. Hetzelfde geldt voor zichtbaar aanwezige versieringen. Om de metingen goed te kunnen verrichten is er gebruik gemaakt van schuurpapier om de oppervlakte van de grappen van het Drent Museum corrosievrij te maken, dit met toestemming van Van Vilsteren en het Drents Museum. Alleen op plekken waar de grappen te zwak waren om daadwerkelijk gebruik te maken van schuurpapier is er besloten om de corrosie te laten zitten. Dit besluit is ook gemaakt door Van Vilsteren, het weghalen van de corrosie is om een zo zuiver mogelijk

resultaat met de metingen te behalen. Hierbij is dan in de vijfde kolom een 'ja' aangegeven in plaats van een 'nee'. In de zesde kolom, de kolom 'opmerkingen', kan worden aangegeven of het hier gaat om een grape zonder oren, zonder poten, of andere bijzonderheden.

Doordat de XRF eerder kapot is gegaan, is de detector van de XRF vervangen. De metingen wijken echter niet af van de oude detector, dit doordat de XRF door een gelicenseerd bedrijf is gerepareerd en hierbij hetzelfde type detector is gebruikt ter vervanging van de oude detector. Hierdoor raakt het apparaat sneller oververhit. In de ruimte van het RCE was het standaard al 23 graden. Hierdoor moest na elke derde meting de XRF worden afgekoeld. Dit werd gedaan door eerst de detector af te nemen met een nat doekje en vervolgens de XRF onder een ventilator te houden. Na ongeveer vijf minuten was de detector weer voldoende gestabiliseerd om de volgende drie metingen te kunnen verrichten. Dit proces werd telkens herhaald.

Doordat de detector telkens moest afkoelen verliep het meten langzaam. Per dag konden er op deze manier 28 grappen worden geanalyseerd. Verder is de collectie uit Friesland ook in het RCE gemeten met dezelfde methode. De grappen uit Friesland waren binnen een dag gemeten. Daarnaast is ook de collectie uit Castricum gemeten. Voor deze collectie is het XRF-apparaat meegenomen naar het Huis van Hilde. Van Vilsteren had van tevoren toestemming geregeld dat de potten en andere bronzen voorwerpen gemeten konden worden. De collectie uit Castricum is op dezelfde dag gemeten. Doordat Van Vilsteren al voor de verschillende collecties toestemming had gevraagd verliep het meten van de collecties gemakkelijk. Het enige struikelblok was de detector die op sommige momenten oververhit raakte, maar dit heeft het onderzoek niet gehinderd. De volgende deelvragen worden beantwoord met het meten:

1. Wat is de samenstelling van het materiaal van de bronzen kookpotten van het Drents Museum?
2. Wat zijn de verschillen in samenstelling van het materiaal van de kookpotten tussen de verschillende Nederlandse collecties van bronzen kookpotten?

3.3 STATISTIEK EN ANALYSES

3.3.1 PROGRAMMA'S

Voor het analyseren van de informatie die uit het XRF-onderzoek gekomen is, is gebruik gemaakt van twee programma's. Het eerste programma is Excel. Er is gebruik gemaakt van het programma Excel voor het maken van grafieken. Hierbij gaat het alleen om staafgrafieken. Er is voor deze vorm van grafieken gekozen omdat staafgrafieken een duidelijk beeld geven over de populatie en hoe deze in eerste instantie verdeeld is.

Verder is er gebruik gemaakt van het programma Grapher. Dit programma is specifiek gericht op het maken van grafieken. In het programma zijn er verschillende mogelijkheden om bijvoorbeeld alleen de buiken van de bronzen kookpotten met elkaar te vergelijken. Er zijn drie grafieken gemaakt met Grapher. Deze grafieken hebben elk twee elementen die met elkaar worden vergeleken. Hieruit zijn enkele clusters ontstaan.

3.3.2 ANALYSES

Met behulp van het programma Excel is gebruik gemaakt van clusteranalyse. Een clusteranalyse is een analysevorm waarbij groepen worden gevormd op basis van hun kenmerken. Thomas gebruikt deze vorm van analyse ook voor zijn onderzoek aangezien hiermee de groepen binnen alle metingen goed te zien zijn.¹² De clusteranalyse geeft het beste beeld van de metingen. Door de spreidingen in de clusters, is er geen gebruik gemaakt van bijvoorbeeld regressieanalyse. Het doel is dan ook dat er groepen onderscheiden kunnen worden met behulp van de analyse. Doordat er in de grafieken duidelijk groepen uitspringen die bij elkaar horen, kan geanalyseerd worden waardoor deze potten qua brons samenstelling in dezelfde groep behoren. Hier kan dan uit worden opgemaakt dat wellicht deze potten van dezelfde maker zijn of dat de potten uit hetzelfde gebied komen.

Er is geen gebruik gemaakt van materiaalanalyse, ook al gaat het hier om bronzen kookpotten. In het onderzoek van Thomas is wel gebruik gemaakt om naast de clusteranalyse ook een materiaalanalyse te maken en deze met elkaar te overlappen om uiteindelijk groepen te kunnen creëren in de bronzen voorwerpen. In dit onderzoek is ervoor gekozen geen materiaalanalyse te doen en niet de uiterlijke kenmerken van de potten mee te nemen, maar juist alleen naar de aanwezigheid en de percentages van de elementen te kijken. Dit om te kijken of er zonder extra informatie al groepen ontstaan.

3.3.3 STATISTIEK

Op het grootste gedeelte van de populatie is geen statistiek te verrichten wat betreft dateringen. De potten van het Drents Museum en de bronzen kookpotten uit Friesland zijn niet gedateerd. Er is daarnaast besloten om ook geen gebruik te maken van de kenmerken van de potten. Dit omdat het geen toegevoegde waarde heeft, aangezien er alleen gekeken zal worden naar de samenstellingen van de potten in lood, tin, antimoon, koper en zink voor de oren, poten en buiken van de potten. Dit is besloten zodat er naar de gehele populatie met een frisse blik kan worden gekeken zonder achtergrondinformatie over de pot zelf. De volgende deelvragen worden beantwoord met het analyseren:

5. Welke informatie over ouderdom, herkomst en fabricage kan worden afgeleid uit de chemische samenstelling van bronzen potten?

7. Wat is de toegevoegde waarde van het gebruik van XRF in het archeologische werkveld, zowel binnen als buiten Nederland?

¹² Thomas 2014, pagina 50.

4 RESULTATEN

4.2 RESULTATEN LITERATUURONDERZOEK

Voor het literatuuronderzoek is er gezocht naar literatuur die specifiek betrekking heeft tot XRF-onderzoek van bronzen kookpotten. Hier zijn echter maar twee publicaties die gericht zijn op bronzen kookpotten te vinden. De eerste publicatie is van N. Thomas en J. Plumier. Thomas en Plumier hebben in een onderzoek uit 2014 een aantal bronzen voorwerpen onderworpen aan XRF-onderzoek. Tussen de voorwerpen bevindt zich een aantal bronzen kookpotten. Verder heeft Thomas ook onderzoek gedaan samen met D. Bourgarit. De desbetreffende publicatie is gericht op bronzen kookpotten.¹³

Ten tweede, vanwege het feit dat er maar twee onderzoeken gepubliceerd zijn die specifiek gericht zijn op XRF en bronzen kookpotten, is er gezocht naar literatuur die alleen gericht is op XRF-onderzoek in het archeologische werkveld. Hierbij zijn veel onderzoeken naar voren gekomen. De meeste onderzoeken richtten zich op zilveren en gouden munten. Een aantal onderzoeken gaan over schilderijen en wat XRF-onderzoek kan bijdragen als informatieve toevoegingen over deze schilderijen. In de onderstaande paragraaf worden de onderzoeken kort besproken en samen gevat. Een voorbeeld hiervan is: Use of microscopic XRF for non-destructive analysis in art and archaeometry, X-RAY Spectrometry van Janssens.¹⁴ Verder zijn er dan nog rapportages van het RCE, zoals: Tien millennia bewoningsgeschiedenis in het Maasdal, van jachtkamp tot landgoed langs de A2 bij Maastricht.¹⁵ Daarnaast is er ook nog rapportage nummer 222 van het RCE.¹⁶ Verder is er ook nog gekeken naar een onderzoek van de Vrije Universiteit Amsterdam, namelijk: Archeologische onderzoek op de vindplaats van gouden munten en hakzilver uit de 5de eeuw bij Pey, gemeente Echt-Susteren.¹⁷ Een ander onderzoek is van Roxburgh, namelijk: Non-Destructive Survey of Early Roman Copper-Alloy Brooches using Portable X-ray Fluorescence Spectrometry.¹⁸ In de onderstaande alinea's worden de onderzoeken verder toegelicht.

In het onderzoek van Van Vilsteren wordt duidelijk aangegeven wat een grape precies is. Een grape is een middeleeuwse pot. De potten dienden uitsluitend als kookpotten in het huishouden. De grappen werden gemaakt uit aardewerk, koper of brons. In bijlage 2 is een afbeelding met de maakwijze van de bronzen grape. Bijlage 2 is te vinden op pagina 33. In dit onderzoek worden alleen de bronzen grappen onderzocht. Daarnaast heeft een grape altijd twee oren en drie poten. Grappen kunnen ook voorzien zijn van een steel. Verder waren bronzen grappen makkelijk te repareren mochten deze kapot zijn. Bij een gat in de bronzen grape hoeft er alleen een plak brons over het gat vast-gesmolten/gehamerd te worden. Grappen werden gemaakt en gebruikt vanaf de 14e eeuw tot de 16e eeuw.¹⁹ In figuur 3 is een voorbeeld van een grape uit de collectie van Huis van Hilde te zien.

¹³ Thomas 2014, pagina 50.

¹⁴ Janssens *et al* 2000, pagina 73-91.

¹⁵ Aarts *et al* 2015, pagina 130-133.

¹⁶ Lauwerier *et al* 2014, pagina 36-38.

¹⁷ Heeren *et al* 2014, pagina 20-22.

¹⁸ Roxburgh *et al* 2018, pagina 55-67.

¹⁹ Van Vilsteren 2008, pagina 32-42.



FIGUUR 3: FOTO VAN EEN GRAPE UIT DE COLLECTIE VAN HUIS VAN HILDE.

[HTTPS://COLLECTIE.HUISVANHILDE.NL/PDF/MATERIAALPRACTICUM%20EBF%20COMPLEET.PDF](https://collectie.huisvanhilde.nl/pdf/materiaalpracticum%20EBF%20COMPLEET.pdf)

Er wordt al meerdere jaren gebruik gemaakt van XRF-onderzoek om meer te weten te komen over samenstellingen van gevonden voorwerpen. De man achter de eerste XRF-techniek is de Duitse natuurkundige Wilhelm K. Röntgen. Röntgen begon in 1884 met het onderzoeken van zogenaamde 'kanaalstralingen' en vervolgens in 1895 is het Röntgen gelukt om een 'röntgenfoto' te maken. De stralingen zijn naar Röntgen genoemd. Door deze techniek is later ook de XRF ontwikkeld. Deze ontwikkelingen werden later gemaakt door de natuurkundigen Charles G. Barkla in 1909 en Henry G. J. Moseley in 1913.²⁰ Het eerste archeologische onderzoek waar gebruik gemaakt werd van de XRF techniek is een onderzoek van Edward Hall.²¹ Het onderzoek werd uitgevoerd in Oxford en is een handboek geworden voor het gebruiken van XRF metingen in archeologie en de voor- en nadelen hiervan. Het oudste onderzoek dat in dit onderzoek besproken wordt komt uit 2000. Het gaat om het volgende onderzoek: Use of microscopic XRF for non-destructive analysis in art and archaeometry, X-RAY Spectrometry.²² In dit onderzoek is gebruik gemaakt van XRF om de verschillende metalen in de verf van schilderkunst te kunnen onderscheiden. Deze vorm van XRF onderzoek wordt voornamelijk gebruikt bij het restaureren van schilderijen. Het is echter pas recentelijk dat er meer gebruik wordt gemaakt van de onderzoeksmethode, zeker in het archeologisch werkveld. Dit doordat de XRF-methode goedkoper en sneller is geworden. Hierdoor zijn er sinds 2013 meer onderzoeken gedaan waarbij gebruik wordt gemaakt van XRF. In de onderstaande alinea's worden de literatuuronderzoeken uitgelicht die gebruik hebben gemaakt van de XRF-onderzoeksmethode.

XRF kan ook op andere manieren worden toegepast in het archeologisch werkveld dan alleen het meten van objecten. In het onderzoek van Hamburg *et al.* is duidelijk te zien dat XRF als onderzoeksmethode veelzijdig is.²³ In het onderzoek wordt gebruik gemaakt van XRF om boorkernen te onderzoeken/meten. Hiervoor zijn drie boorkernen van een meter gemeten. Het doel was om de sedimentaire samenstellingen van de kernen te analyseren. Hieruit kon opgemaakt worden dat de verschillende lagen in de bodem verschillende soorten elementen bevatten. Hierdoor is de overgang naar een nieuwe bodemlaag zeer nauwkeurig te bepalen. Het onderzoek laat duidelijk zien dat XRF-onderzoek bij het bepalen van bodemlagen een uitstekend hulpmiddel is om nauwkeuriger te zijn. Er is wel aantal beperkingen bij het gebruiken van de XRF bij bodemonderzoeken. Bij een vochtige bodem

²⁰ Shackley 2018, pagina 10-25.

²¹ Hall 1960, pagina 5-13.

²² Janssens *et al* 2000, pagina 73-91.

²³ Hamburg *et al* 2014, pagina 113-270.

moeten er altijd correcties worden gemaakt van de metingen, aangezien deze kunnen afwijken door het vocht. Daarnaast kunnen de metingen verkeerd uitvallen als de bodem heel mineraalarm is. Verder moet je ook de juiste software hebben voor het meten van bodemlagen, anders kunnen de percentages anders uitvallen. In de onderstaande alinea's wordt gericht op XRF-onderzoeken waarbij bronzen objecten zijn gemeten, maar het bovenstaande onderzoek duidt aan dat XRF zeer veelzijdig gebruikt kan worden.

Het onderzoek van Thomas en Plumier had als doel om de verschillende maakwijzen van verschillende soorten bronzen voorwerpen te achterhalen. Daarnaast worden de voorwerpen ook met de XRF gemeten om te achterhalen wat de exacte samenstelling is van de voorwerpen. Onder de voorwerpen die gemeten en onderzocht zijn, bevinden zich ook een aantal bronzen kookpotten. De uitkomst hiervan is dat de bronzen kookpotten die gemeten zijn, niet meer dan 25 procent lood bevatten.²⁴ De methode van meten is vergelijkbaar met de methode van meten in dit onderzoek. Het grote verschil is dat dit onderzoek niet kijkt naar de maakwijzen en alleen kijkt naar bronzen kookpotten en geen andere voorwerpen.

Het onderzoek van Thomas en Bourgarit is een experimenteel onderzoek om meer informatie te verkrijgen over de samenstelling van het brons van de kookpotten. Hierbij is er in een laboratorium gebruik gemaakt van experimentele archeologie en XRF-onderzoek. Hierbij hebben Thomas en Bourgarit 300 verschillende maak/mengwijzes getest. Hierbij zijn alle verschillende bronssamenstellingen gemeten en genoteerd. Al deze samenstellingen kunnen vervolgens worden vergeleken met bronzen kookpotten die gevonden zijn en hierdoor kan er meer duidelijkheid komen om welke menging brons het gaat. De uitkomst is een databank met 300 verschillende samenstellingen brons waarmee vergeleken kan worden.²⁵ De methode van meten is vergelijkbaar met dit onderzoek, maar het grote verschil is dat in dit onderzoek geen experimentele archeologie wordt gebruikt om bronssamenstellingen te achterhalen.

In het onderzoek van Roxburgh wordt aangegeven dat de XRF meettechniek een geschikte manier is van onderzoeken. In het onderzoek worden er metingen gedaan van broches uit de vroeg-Romeinse tijd. De broches komen uit de regio Nijmegen. Deze broches zijn uiteindelijk vergeleken met andere gemeten broches. De conclusie van het onderzoek is duidelijk: de gemeten broches uit Nijmegen hebben een andere samenstelling van brons dan bijvoorbeeld broches uit de voor-Romeinse tijd. Het ging in dit onderzoek echter niet om tijdperken, maar om de uiterlijke kenmerken en typologieën. Hieruit is gebleken dat verschillende types broches verschillende samenstellingen hebben van brons.²⁶

Een ander onderzoek is het onderzoek van Speakman.²⁷ In het onderzoek van Speakman worden bronzen bellen gemeten. Het doel van het onderzoek was om het productiecentrum van de bellen kunnen achterhalen. De bellen zijn gebruikt in koloniale gebieden van Spanje in de 16e/17e eeuw. In het onderzoek zijn er fragmenten van de bellen gemeten die afkomstig zijn uit Florida, South-Carolina en Georgia. Uit het onderzoek is gebleken dat het productiecentrum van de bronzen bellen in Mexico was. Het productiecentrum stond onder Spaans bewind. Dit onderzoek maakt duidelijk dat met het gebruik van XRF-metingen productiecentra daadwerkelijk te achterhalen zijn.

In de verschillende onderzoeken die geanalyseerd zijn in dit literatuuronderzoek komt naar voren dat XRF-onderzoek altijd toegevoegde waarde heeft voor het onderzoek. In de gedane onderzoeken is XRF-onderzoek nooit het hoofddoel, maar meer een bijzaak voor het verkrijgen van extra informatie. In het onderzoek 'Tien millennia bewoningsgeschiedenis in het Maasdal, van jachtkamp tot landgoed

²⁴ Thomas 2014, pagina 50.

²⁵ Thomas 2015, pagina 35-50.

²⁶ Roxburgh *et al* 2018, pagina 55-67.

²⁷ Speakman *et al* 2018, pagina 1-3.

langs de A2 bij Maastricht²⁸ worden er verschillende onderzoeksmethoden gebruikt. XRF is hier een methode van, maar niet het onderwerp van het onderzoek. Er zijn nog geen onderzoeken in Nederland waar alleen XRF-onderzoek gebruikt is om het onderzoek te verrichten. Een ander voorbeeld is een XRF-onderzoek naar Hellenistische gouden munten. Het uitgevoerde onderzoek kan erg veel bijdragen aan dit onderzoek, omdat het specifiek over XRF-onderzoek gaat. Echter, het onderzoek is alleen in het Roemeens te verkrijgen.²⁹ Hierdoor is het moeilijk om er informatie uit te halen. Een ander voorbeeld hiervan is het onderzoek van Onuruna.³⁰ Dit onderzoek is alleen verkrijgbaar in het Turks.

Uit de bovenstaande onderzoeken kan worden geconcludeerd dat de onderzoeksmethode met de XRF zowel voor- als nadelen heeft. Een voordeel is dat de techniek snel inzetbaar is en er direct kan worden gemeten. Daarnaast kan de XRF zowel gebruikt worden in het lab als in het veld. Verder hebben de monster die gemeten worden weinig tot geen voorbehandeling nodig voor een meting. De XRF techniek heeft echter ook nadelen. De aanschaf van een XRF is relatief gezien duur. Een ander nadeel is dat de software en meettijd bepalend zijn voor de meting. Als de verkeerde software geïnstalleerd is op de XRF, kan de meting anders worden weergegeven dan het daadwerkelijk is. Ten slotte is de XRF niet te gebruiken in het water en kunnen mineraal arme veengronden ook niet gemeten worden.³¹

4.2.2 DE PERIODIEKE TAFEL VAN ELEMENTEN

In het komende stuk wordt de periodieke tafel besproken en vervolgens de vijf elementen die onderzocht zijn met de XRF-methode. Het gaat om de volgende elementen: zink, koper, antimoon, tin en lood. Het is belangrijk om eerst de periodieke tafel en de elementen kort te bespreken om meer inzicht te krijgen over wat de elementen precies zijn, hoe deze gewonnen worden en wat de eigenschappen van de elementen zijn.

De periodieke tafel van elementen is te vinden in figuur 4. Over het algemeen zijn binnen één rij (periode) de elementen die aan de linkerkant staan metalen en die aan de rechterkant niet-metalen. De rijen van de tabel worden periodes genoemd; de kolommen heten groepen. Het periodiek systeem wordt vaak gebruikt om overeenkomsten te vinden tussen de elementen en om de eigenschappen te ontdekken van nog onbekende of nieuwe elementen. Met het periodiek stelsel kan chemisch gedrag van de elementen worden geanalyseerd.

FIGUUR 4: PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS. [HTTP://REMOVEANDREPLACE.COM/2015/09/09/PERIODIC-TABLE-OF-ELEMENTS-WITH-NAMES-AND-SYMBOLS/](http://removeandreplace.com/2015/09/09/periodic-table-of-elements-with-names-and-symbols/).

²⁸ Aarts *et al* 2015, pagina 130-133.

²⁹ Micu 2011, pagina 3-15.

³⁰ Onuruna 2013, pagina 105-116.

³¹ SIKB-handreiking 8101 2018, pagina 18-19.

4.2.3 LOOD

Lood komt voornamelijk in de mineralen galena, cerussiet en anglesiet. Daarnaast wordt voor de productie van lood er veelal gebruik gemaakt van het recyclen van andere voorwerpen waar lood in zit. De kleur van lood is wit/blauw. Lood is een zacht metaal dat goed hanteerbaar is. Echter, lood kan uiteindelijk door blootstelling aan zuurstof glans verliezen en waardoor het metaal dof wordt. Doordat lood schadelijk is voor het milieu wordt het gebruik ervan hedendaags terug gedrongen door voornamelijk te produceren met gerecycled lood.³²

4.2.4 TIN

Tin is een metaal dat wordt gewonnen uit cassiteriet, een mineraal. Om uiteindelijk tin te krijgen wordt cassiteriet samen met koolstof geroosterd in een oven. Daarnaast zijn er twee vormen van tin. De eerste vorm is grijs tin. Deze vorm van tin ontstaat bij temperaturen onder de 13.2°C. De tweede vorm van tin, wit tin, ontstaat bij temperaturen boven de 13.2°C. Deze vorm van tin is de meest gebruikte vorm van het metaal. Op het moment dat de temperatuur echter daalt, verandert wit tin weer terug in grijs tin. Om te voorkomen dat wit tin weer grijs tin wordt, kunnen kleine hoeveelheden antimoon of bismut worden toegevoegd aan wit tin. Hierdoor blijft wit tin stabiel. Tin wordt vaak gebruikt als bescherm laag voor andere metalen aangezien tin corrosiebestendig is. Een goed voorbeeld is een tinnen blikje. Het blik zelf is voor het grootste gedeelte gemaakt uit staal, maar er is een klein beetje tin aan toegevoegd om het roesten tegen te gaan.³³

4.2.5 ANTIMOON

Antimoon is een element dat op natuurlijke wijze voor komt. Antimoon wordt echter voornamelijk gewonnen uit het erts van stibniet en valentieniet. Antimoon is een zeer zacht metaal. Antimoon is een zeer veelzijdig element. Het wordt gebruikt om lood langer mee te doen gaan, dit door het te versterken en harder te maken. Daarnaast wordt antimoon vaak gebruikt als legering in bijvoorbeeld glas en aardewerk, dit is echter een nieuwere methode.³⁴

4.2.6 ZINK

Zink wordt gewonnen uit meerdere mineralen. Het gaat hier om de volgende mineralen: sfaleriet, smithsoniet, calamine en frankliniet. Zink is een metaal dat al langere tijd wordt gebruikt voor de productie van brons, maar later werd pas ontdekt dat zink ook een op zich zelf bestaand element is. Door verhitting van het metaal calamine met wol, komt zink vrij in zijn eigen vorm. Daarnaast werd er door Andreas Sigismund Marggraf in 1746 ontdekt dat door het verhitten van calamine en houtskool er ook zink vrij komt. Het meeste zink wordt tegenwoordig echter geproduceerd door elektrolyse.³⁵

³² Davis 2008, pagina 185-224.

³³ Davis 2008, pagina 185-224.

³⁴ Davis 2008, pagina 185-224.

³⁵ Davis 2008, pagina 185-224.

4.2.7 KOPER

Koper is een metaal dat uit meerdere mineralen gewonnen kan worden. Voorbeelden hiervan zijn azuriet en borniet. Vanwege de hoge corrosiebestendigheid worden er dan ook veel kabels van koper gemaakt. Koper is goed bestendig tegen zeewater, lucht en vocht. Zuiver koper is echter te zwak om gebruikt te worden om er daadwerkelijk potten mee te kunnen produceren. Koper is sterker als er andere metalen aan worden toegevoegd. Brons is een vermenging van koper en tin. Door de tin zijn bronzen voorwerpen goed bestendig tegen corrosie.³⁶

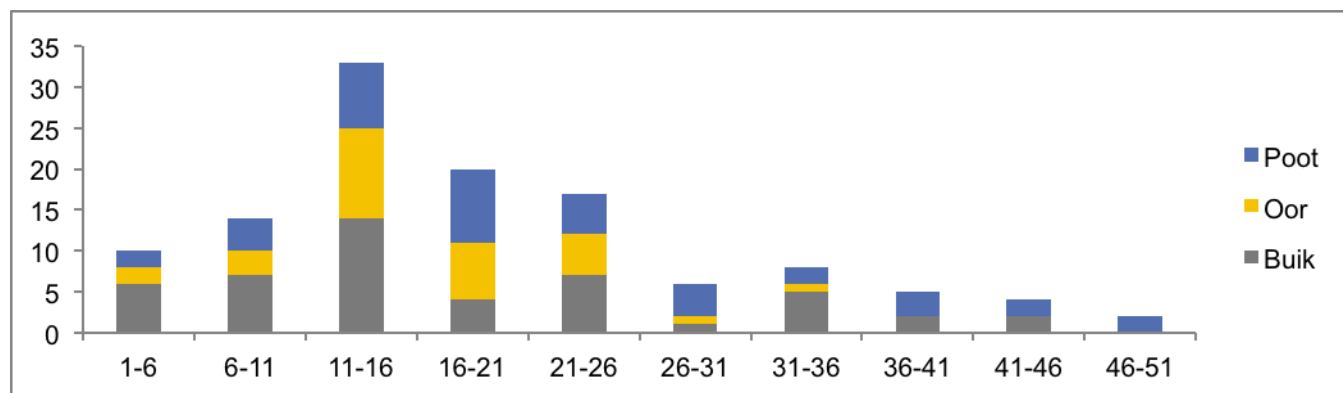
³⁶ Davis 2008, pagina 185-224.

4.2 TOTALE POPULATIE

Voor het onderzoek van de potten zijn er in totaal 162 metingen gedaan. Niet alle metingen zijn meegenomen in de grafieken die hieronder te zien zijn. De metingen die niet gelukt zijn, de stelen en de reparaties, zijn uit de grafieken gehaald. De beslissing is gemaakt om uiteindelijk alleen de buiken, oren en poten in de grafieken te tonen. Dit doordat er van de stelen, reparaties en andere voorwerpen, bijvoorbeeld een gesp, maar één exemplaar was en er hierdoor geen vergelijkingsmateriaal is. Door de kleine aantallen is er een gebrek aan analysemogelijkheden voor de stelen, reparaties en andere voorwerpen. Er zijn in totaal 48 buiken, 31 oren en 41 poten gemeten. Dit is een totaal van 120 metingen die zijn meegenomen in het onderzoek. In het onderzoek van N. Thomas is voornamelijk gekeken naar lood en zink. Hierbij heeft Thomas alle onderzochte voorwerpen meegenomen. Echter, Thomas had ook meer vergelijkingsmateriaal en wilde hij vergelijken waar de verschillende groepen van verschillende voorwerpen uit zouden komen in de grafieken. In dit onderzoek is besloten dat niet te doen. Ten eerste omdat er alleen bronzen kookpotten zijn gemeten, met de uitzondering van een gesp, waardoor er geen vergelijking mogelijk is. Daarnaast liggen alle bronzen kookpotten vrij dicht bij elkaar qua samenstellingen. Verder is er geen onderscheid gemaakt in waar de potten vandaan komen. Er is dan ook geen onderscheid gemaakt op basis van de uiterlijke kenmerken van de potten zoals deze zijn beschreven door Van Vilsteren in de collectiecatalogi van het Drents museum. Er is alleen gekeken naar de verhoudingen van de verschillende elementen en of er clusters op te maken zijn in de populatie. Eerst zal het element lood geanalyseerd worden. Vervolgens zal het element tin besproken worden. Daarna zal het element antimoon worden geanalyseerd. Verder wordt het element koper geanalyseerd. Als laatste wordt zink besproken. Daarna worden er nog meerdere elementen met elkaar vergeleken om hieruit clusters te halen. Het gaat hier om drie grafieken. De eerste grafiek is een grafiek met de elementen antimoon en tin. Vervolgens is er een grafiek met de elementen antimoon en lood. De laatste grafiek vergelijkt de elementen tin en lood.

4.2.1 PB

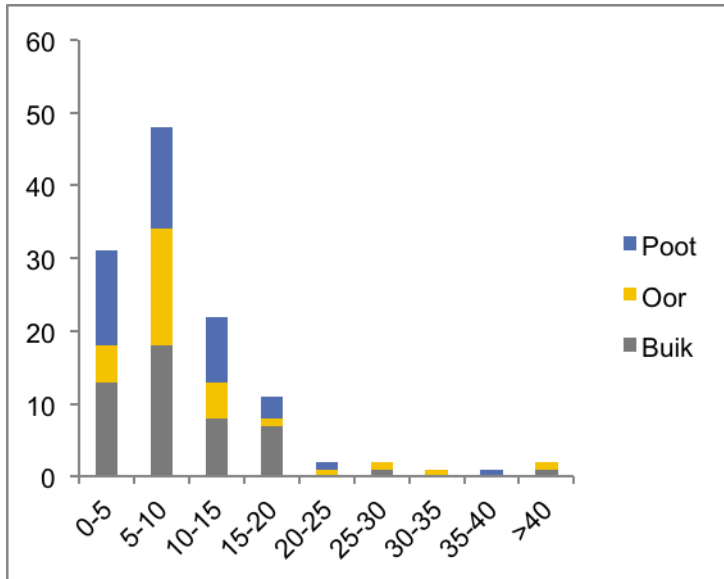
De bronzen kookpotten van de populatie bestaan uit verassend veel lood. Lood is een giftige substantie die voor loodvergiftiging kan zorgen. Het is echter wel zo dat wanneer de buitenste laag van het brons niet doorbroken wordt, het in orde is om een bronzen kookpot te gebruiken voor voedselwaren. Zo lang er geen krassen in de pot worden aangebracht of er zuur eten in de pot wordt gekookt in de pot is het geen probleem om de pot te gebruiken. Het grootste gedeelte van de populatie ligt duidelijk tussen de 11 en 26 procent. Vanwege loodvergiftiging is het verassend dat er alsnog potten zijn die meer dan 31 procent lood hebben. Verder is uit de grafiek op te maken dat de oren van de potten maar maximaal 31 tot 36 procent aan lood bevatten. Poten daarentegen kunnen wel 46 tot 51 procent aan lood bevatten. Dit is erg opmerkelijk. Uit het onderzoek van N. Thomas is gebleken dat de bronzen kookpotten uit Frankrijk geen hoger loodgehalte hebben dan 25 procent. In de Nederlandse kookpotten is echter op te merken dat er zowel buiken, poten als oren zijn die meer dan 25 procent lood bevatten. Hier valt uit op te maken dat er verschil zit in de maakwijze per regio.



FIGUUR 5: GRAFIEK VAN LOOD, HIERBIJ IS DE Y-AS DE HOEVEELHEDEN POTTEN EN DE X-AS HET PERCENTAGE VAN HET ELEMENT.

4.2.2 SN

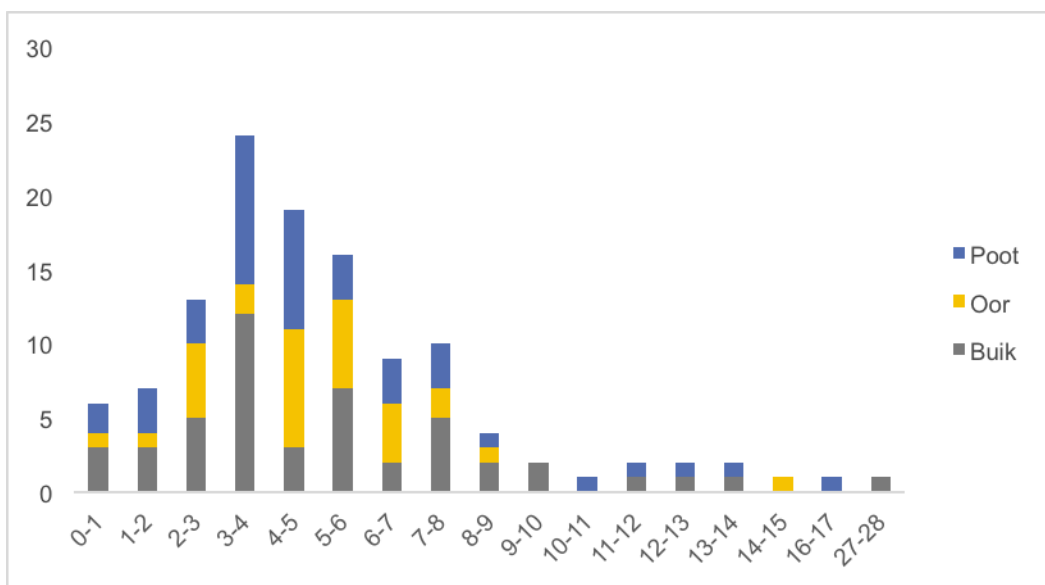
De kookpotten van de populatie bevatten voor het grootste gedeelte tussen de 0 en 20 procent tin. Er zijn zeven metingen die hoger uitvallen dan 25 procent. Dit zijn twee buiken, de meting van de kern/breuk, drie oren en één poot. Dat de breuk meer dan 25 procent tin bevat is opvallend. Dat betekent dat tin aan de oppervlakte misschien minder goed gemeten wordt dan wanneer je de kern van een pot meet. Er is echter maar één meting gedaan van een kern/breuk, dus het valt niet met zekerheid te zeggen of dit dan ook daadwerkelijk het geval is.



FIGUUR 6: GRAFIEK VAN TIN, HIERBIJ IS DE Y-AS DE HOEVEELHEDEN POTTEN EN DE X-AS HET PERCENTAGE VAN HET ELEMENT.

4.2.3 SB

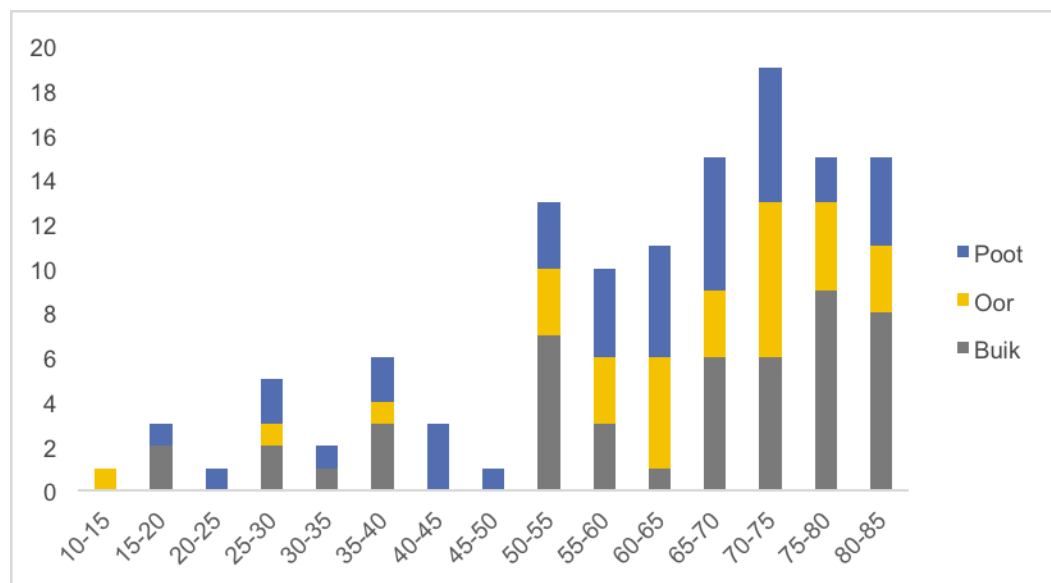
Het antimoon in de kookpotten van de totale populatie lijkt op het eerste gezicht aan de hand van de grafiek in te delen te zijn in twee groepen. De eerste groep is van 2,5 tot 4,5 procent. De tweede groep is van 5 tot 6,5 procent aan antimoon. Het gaat hier om percentages tot 0,5 procent. Het is opvallend dat de reparaties van de potten tot nu toe laag uitvallen. Daarnaast heeft de breuk een hoger antimoongehalte dan bij de andere metingen. Het gaat hierbij om een gehalte van 12,5 tot 13 procent. Ook dit zou kunnen betekenen dat er minder antimoon aan de oppervlakte van een pot zit en juist meer antimoon in de kern van de pot. Echter moet er ook hier weer duidelijk gemaakt worden dat het om één meting gaat en het niet met zekerheid gezegd kan worden.



FIGUUR 7: GRAFIEK VAN ANTIMOON, HIERBIJ IS DE Y-AS DE HOEVEELHEDEN POTTEN EN DE X-AS HET PERCENTAGE VAN HET ELEMENT.

4.2.4 CU

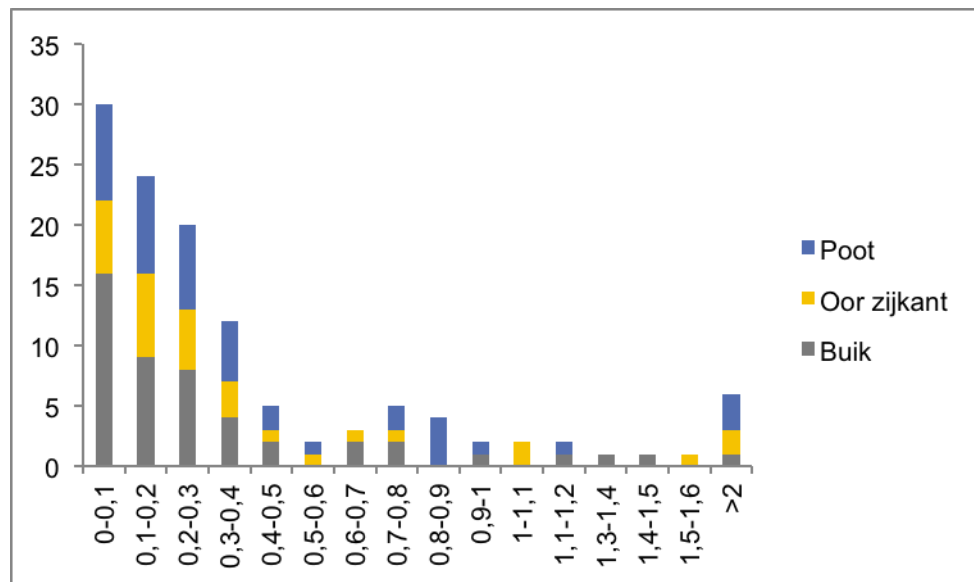
Het kopergehalte in de potten van de totale populatie is op het eerste gezicht aan te merken als hoog. In figuur 8 is te zien dat er maar weinig metingen zijn met minder dan 50 procent koper. Het grootste aantal metingen bevat meer dan 50 procent koper. Het gaat hier om 95 van de 109 metingen. Er is een grote uitschieter, een reparatie. Deze reparatie bevat 90-95 procent koper. Zowel de poten, oren en buiken hebben allemaal hoge gehalten aan koper. Verder is er wel op te merken dat de breuk, waar eerder al is opgemerkt dat deze hoge gehalten tin en lood bevat, juist een laag percentage aan koper bevat. De breuk valt in de categorie 25-30 procent koper. Nogmaals, het gaat hier maar om één gemeten breuk. Of dit ook voor andere bronzen potten geldt, is niet duidelijk. Verder is er nog te zien dat ook de gemeten steel een lager kopergehalte bevat dan de grote groep. De steel bevat 40-45 procent koper.



FIGUUR 8: GRAFIEK VAN KOPER, HIERBIJ IS DE Y-AS DE HOEVEELHEDEN POTTEN EN DE X-AS HET PERCENTAGE VAN HET ELEMENT.

4.2.5 ZN

De bronzen kookpotten bevatten verrassend weinig zink. Het grootste gedeelte valt toch tussen de 0,0-0,5. Er is een enkele uitschieter te zien, maar ook die percentages liggen niet hoger dan 1,6 procent. Dit is toch vrij verrassend, aangezien zink een uitstekende beschermer is tegen corrosie en vaak gebruikt wordt als bescherm laag voor andere metalen. Wellicht is het zink dat in deze potten zit niet expres erin gemengd om de potten te beschermen. Daarnaast is te zien dat over het algemeen de buiken het minste zink bevatten, maar dat er een aantal potten zijn met een hoger zink gehalte. Een hoger zinkgehalte is een aanduiding dat er sprake is van recycling. Echter, de zinkgehalten zijn zo laag dat dit aangeeft dat er weinig recycling van materiaal plaats heeft gevonden bij het maken van deze potten³⁷.



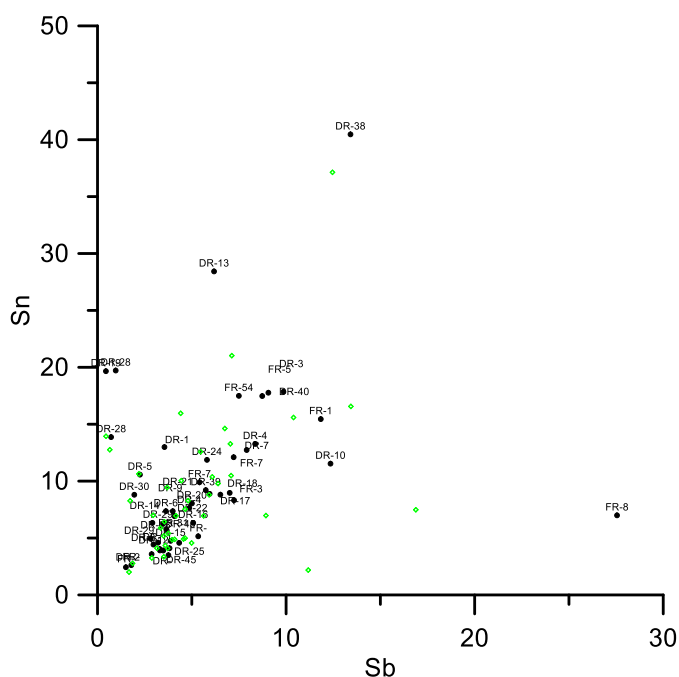
FIGUUR 9: GARFIEK VAN ZINK, HIERBIJ IS DE Y-AS DE HOEVEELHEDEN POTTEN EN DE X-AS HET PERCENTAGE VAN HET ELEMENT.

³⁷ Van Os, gesprek 05-04-2016.

4.3 VERGELIJKENDE ANALYSE

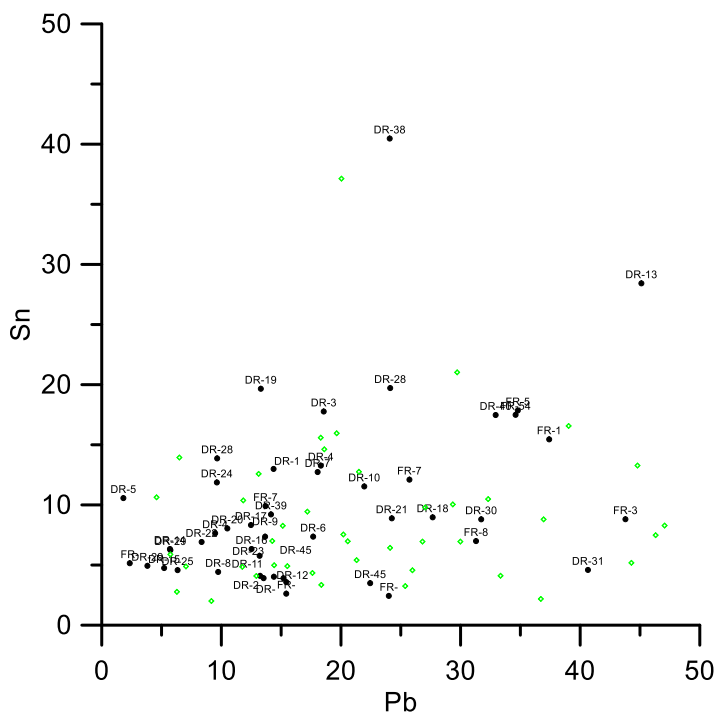
In de onderstaande grafiek zijn de elementen antimoon en tin tegenover elkaar gezet. In de grafieken zijn de zwarte puntjes de potten van het Drents Museum en uit Friesland. Deze hebben dezelfde kleur omdat beide collecties bestaan uit losse potten zonder context. De groene punten zijn alle potten vanuit Castricum. Dit is gedaan om te zien of de verscheidene collecties wellicht clusters vormen met elkaar. Daarnaast zijn alleen de buiken van de potten meegenomen.

Als er naar de onderstaande grafiek gekeken wordt is al snel te zien dat er een cluster zit in de linker onderhoek. Het gaat hier om potten die zowel een relatief laag tin- als antimoongehalte bevatten. Verder lijken er geen clusters te zijn, enkel losse potten die uitschieten. Zoals duidelijk te zien is zijn pot DR-38 en FR-8 verwijderd van het grotere cluster. DR-38 heeft een laag antimoongehalte, maar een hoog tingehalte. Pot FR-8 heeft juist een hoog antimoongehalte, maar een laag tingehalte. Uit de grafiek is op te merken dat bijna alle potten een laag tingehalte en een laag antimoongehalte hebben. De vraag is of dit met opzet is gedaan. Tin is een goede beschermlaag en antimoon wordt vaak gebruikt om lood langer te doen meegaan. Waarom juist deze twee elementen met deze eigenschappen lage gehalten hebben, is niet te beantwoorden op basis van de gegevens in de grafiek.



FIGUUR 10: GRAFIEK VAN PERCENTAGE TIN EN ANTIMOON.

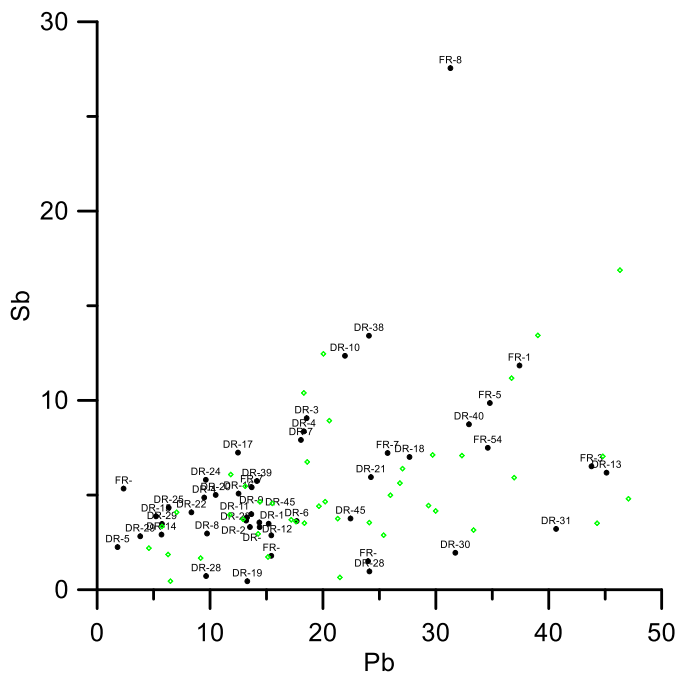
In de onderstaande grafiek, figuur 11, worden de elementen tin en lood tegenover elkaar gezet. Hier is duidelijk te zien dat de meeste potten een vrij laag tin- en loodgehalte hebben, maar dat de percentages lood over de gehele lengte van de grafiek verspreid is. Hier is alsnog op aan te merken dat er een cluster zit in de linker onderhoek. Er zijn veel potten met een laag tin- en loodgehalte. De rest van de spreiding lijkt geheel verspreid te liggen. Verdere clusters lijken er niet te zijn in deze vergelijking van elementen. Pot DR-38 is een pot die zich buiten het cluster bevindt. De pot is wel opgeschuurd, maar heeft verder geen bijzonderheden die een verklaring geven voor het feit dat de pot buiten het cluster is. Pot FR-8 is ook een pot die zich niet in het cluster bevindt. Deze pot is wel geschuurd, maar is ook heel erg verroest, dit doordat de pot uit een zouter milieu komt. Dit is een mogelijke verklaring waarom de pot afwijkt van alle andere potten.



FIGUUR 11: GRAFIEK VAN PERCENTAGE TIN EN LOOD.

In de onderstaande grafiek, figuur 12, over antimoon en lood, is hetzelfde fenomeen te zien als in de eerdere twee grafieken. Er lijkt weer sprake te zijn van een cluster in de linker onderhoek. Hier hebben de potten een laag antimoongehalte en een laag loodgehalte. Wat daarnaast nog opvalt is dat de pot FR-8 een hoog antimoongehalte en een hoog loodgehalte heeft. In tegenstelling tot de eerdere twee grafieken lijkt deze pot de enige uitschieter te zijn die ver van de rest van de populatie afligt. Verder zijn er ook in deze grafiek geen andere clusters op te merken. Alle potten lijken een laag antimoon-, tin- en loodgehalte te hebben, maar zijn wel erg verspreid. Er zijn wel enkele uitzonderingen, zoals pot FR-8.

Daarnaast is er gekeken naar de grootste en de kleinste grape. Dit om te kijken of er verschillen zitten in grootte en/of uiterlijk. Hierbij is de grootste grape DR-25 en de kleinste grape DR-3. Dr-25 ligt in de vergelijkingsanalyses altijd in de clusters. DR-3 ligt echter altijd net buiten de clusters in de vergelijkingsanalyses.



FIGUUR 12: GRAFIEK VAN PERCENTAGE ANTIMOON EN LOOD.

4.4 CONCLUSIE VERGELIJKENDE ANALYSE

Het resultaat van de vergelijkende analyses valt in de lijn met de grafieken van de elementen die los van elkaar zijn gemaakt eerder in dit hoofdstuk. Ook hierin zijn grote groepen te zien met bepaalde percentages van de elementen met hier en daar metingen die anders uitvallen. De eerdere verwachting was dat er clusters zouden ontstaan van de verschillende regio's waar de potten vandaan komen. Het gaat om de regio's Drenthe, Friesland en Noord-Holland. Als men echter naar de grafieken kijkt, zijn er hier geen clusters in te onderscheiden, alleen grote clusters waarin de drie regio's bij elkaar liggen. Sommige potten die buiten de clusters liggen, zoals FR-8 in grafiek 1, zijn wel opgeschuurd voor het meten met de XRF. FR-8 is wel een pot die bijna volledig is omgezet, omdat deze in een zouter milieu is gevonden. Dit zou een mogelijke verklaring kunnen zijn waarom juist deze pot buiten het cluster ligt. Hetzelfde geldt voor de potten DR-38 en DR-13 in grafiek 10. Ook deze potten zijn wel opgeschuurd om te meten, maar hebben verder geen bijzonderheden.

5. CONCLUSIE

In dit hoofdstuk worden de resultaten en theorieën uit de vorige hoofdstukken besproken en hieraan wordt een conclusie verbonden. De conclusie wordt uit de eigen XRF-metingen als ook literatuuronderzoek gemaakt. Eerst worden de theorieën besproken. Verder worden de dateringen besproken, vervolgens wordt de maker van de pot besproken. Daarna worden de handelsroutes besproken. De laatste theorie die besproken wordt is de maakwijze van de potten. Vervolgens worden de deelvragen beantwoord. Aan de hand van de deelvragen wordt dan de hoofdvraag beantwoord.

5.1 DATERINGEN

Dateringen kunnen aan de hand van de gegevens van de XRF helaas niet worden bepaald. Wel kan, in de toekomst, met een isotopenonderzoek een datering worden gesteld voor de potten van het Drents Museum en de potten uit Friesland. Voor dateringen van de potten kan het beste een isotopenonderzoek worden uitgevoerd. Met behulp van isotopen kan worden bekeken waar het materiaal voor het brons van de kookpotten vandaan kwam. Hierdoor kan worden bepaald hoe oud de potten ongeveer zijn. In het isotopenonderzoek worden de zuurstofisotopen onderzocht die zich in het voorwerp bevinden. Hieruit wordt bepaald hoe oud het materiaal is waarvan de potten gemaakt zijn.³⁸

5.2 MAKER VAN DE POT

XRF-gegevens kunnen bijdragen aan het bepalen van de maker van de bronzen kookpotten. Een voorbeeld is de vondst bij Castricum. Hier gaat het om de vondsten uit een vondstgroep die qua uiterlijk erg op elkaar lijken. Als men echter de XRF-gegevens bekijkt, blijkt dat de samenstellingen van de potten anders zijn. Hier kan geconcludeerd worden dat de potten niet allemaal met dezelfde percentages grondstoffen zijn gemaakt. Dat ze er allemaal hetzelfde uitzien kan eraan liggen dat de potten wellicht in eenzelfde regio gemaakt zijn of dat de makers elkaar imiteerden qua vormen. De potten die in dit onderzoek gemeten zijn hebben nagenoeg dezelfde samenstelling. Potten uit Frankrijk hebben echter een veel lager loodgehalte. Potten uit Frankrijk hebben maximaal 25 procent lood, maar potten uit Nederland bevatten soms wel 51 procent lood.

Ook kunnen de gegevens van de XRF helpen bij het bepalen of alle onderdelen van de potten van dezelfde percentages grondstoffen gemaakt zijn. Het kan voorkomen dat bijvoorbeeld de poten en/of de oren van de potten ergens anders gefabriceerd werden dan de buiken van de potten. De poten en/of de oren worden dan later aan de pot gezet. Een voorbeeld hiervan zijn de potten van het Drents Museum. Uit de gegevens is gebleken dat de buiken en de oren met elkaar overeenkomen wat betreft de samenstelling van het brons. De poten hebben een andere samenstelling. Het kan zijn dat dit is gebeurd doordat de poten een andere samenstelling nodig hebben omdat de poten het gewicht van de pot moeten dragen of omdat de poten van bijvoorbeeld een andere maker komen. Om dit te kunnen staven is ook hier wellicht behoefte aan een isotopenonderzoek om te bepalen of het materiaal dat gebruikt is voor de poten uit een andere regio is gekomen ten opzichte van het materiaal dat is gebruikt voor de buiken en de oren van de potten.³⁹

³⁸ Berendsen 2000, pagina 55.

³⁹ Van Os, gesprek 05-04-2016.

5.3 HANDELSROUTES

Met XRF-gegevens zijn handelsroutes aan te tonen, dit doordat aan te tonen valt waar het materiaal vandaan komt. Als meerdere objecten uit verschillende regio's dezelfde samenstelling hebben in brons, kan hieruit worden opgemaakt dat de bronzen voorwerpen verhandelt zijn. Daarnaast valt aan te tonen dat onderdelen van de pot, de oren en de poten, op een andere manier gemaakt zijn of niet van dezelfde maker zijn. Dit kan duiden op handel tussen verschillende makers en/of verschillende fabricagecentra voor de verschillende onderdelen van de bronzen kookpotten of handel in grondstoffen. Om daadwerkelijk handelsroutes vrij te leggen, is een onderzoek naar isotopen nodig. Zodra door isotopenonderzoek is achterhaald waar welk materiaal precies vandaan komt kan er ook achterhaald worden waar welke onderdelen van de potten precies vandaan komen.

5.4 MAAKWIJZE VAN DE POT

Bronzen kookpotten kunnen op verschillende wijze gefabriceerd worden. Met behulp van XRF gegevens kan bepaald worden welke maakwijze gehanteerd werd. Thomas heeft de verschillende maakwijzen in een illustratie samengevat. De illustratie bevindt zich in bijlage 2. Een voorbeeld van een maakwijze is dat er een mal is gemaakt van een pot waarbij de oren ook onderdeel zijn van de mal en dus direct vastzitten aan de pot zelf. Vervolgens worden dan de poten er los aangezet. Daarnaast is er de maakwijze dat er een mal is van een pot, dat deze wordt volgegoten en dat vervolgens de oren en poten er los aan worden gezet.

Met behulp van dit XRF-onderzoek is uit te zoeken of de oren van de pot bijvoorbeeld van exact hetzelfde brons zijn. Hierdoor is dus aan te geven of de oren en de buik van dezelfde maker zijn. Daarnaast is te achterhalen of de los aangezette poten van dezelfde maker zijn als de buik. Dit doordat het brons van de poten wellicht een andere samenstelling hebben dan de buiken.

5.5 HOOFD- EN DEELVRAGEN

In het onderzoek is er gezocht naar een antwoord op de volgende vraag: Welke informatie levert onderzoek naar de samenstelling van bronzen kookpotten uit Nederlandse depots op? Hiervoor is een XRF-onderzoek gedaan waarbij er verschillende collecties kookpotten uit Nederland zijn gemeten. Hierbij is gekeken naar de buik, poten en oren van de potten.

Voor het antwoord op de hoofdvraag, worden eerste de antwoorden op de deelvragen besproken.

De eerste deelvraag is: Wat is de samenstelling van het materiaal van de bronzen kookpotten van het Drents Museum?

Het antwoord op deze vraag is dat elke pot zijn eigen unieke samenstelling heeft. Alle potten bestaan uit de elementen zink, koper, antimoon, tin en lood.

De tweede deelvraag is: Wat zijn de verschillen in samenstelling van het materiaal van de kookpotten tussen de verschillende Nederlandse collecties van bronzen kookpotten?

Het antwoord is dat er verschillen zijn in samenstelling tussen alle potten die gemeten zijn, maar dat er geen verschillen zitten in de verschillende collecties. Dit is ook te zien in de vergelijkende analyse met meerdere elementen. Hier is duidelijk te zien dat er geen clusters zijn met de verschillende collecties, maar dat deze juist door elkaar heen verspreid zitten.

De derde deelvraag luidt als volgt: Wat is de samenstelling van bronzen kookpotten in omliggende landen (Frankrijk, Engeland, Duitsland, Denemarken)?

Het enige grote verschil met potten uit het buitenland is dat potten uit Frankrijk maximaal 25 procent lood bevatten. Potten uit Nederland en Duitsland bevatten allemaal meer lood dan de potten uit Frankrijk.

De vierde deelvraag is als volgt: Wat kan er, met de informatie uit deelvraag 3, gezegd worden over de kookpotten in Nederland?

De Nederlandse potten bevatten in sommige gevallen 51 procent aan lood. Hieruit is op te maken dat er verschillende maken/mengingen van het brons werden gehanteerd per regio.

De vijfde deelvraag is: Welke informatie over ouderdom, herkomst en fabricage kan worden afgeleid uit de chemische samenstelling van bronzen potten?

Uit het onderzoek is gebleken dat de informatie uit een XRF-onderzoek veel extra informatie geeft. Een datering kan weliswaar niet worden afgeleid, maar zo is er wel ontdekt dat er geen sprake van recycling lijkt te zijn in de potten, dat de samenstelling van het brons van de potten per regio/land erg kan verschillen en dat de Nederlandse potten allemaal nagenoeg zijn samengesteld uit verschillende elementen in vergelijkbare verhoudingen.

De zesde deelvraag is: Wat is de precieze werking van röntgendiffractie?

De werking van een XRF-apparaat bestaat uit drie onderdelen. Het eerste onderdeel is de buis. De buis genereert de röntgenstralen die op de bronzen kookpotten worden gericht. De bronzen kookpotten absorberen vervolgens de stralen en kaatsen de straling terug. Hier komt energie bij vrij. Deze energie wordt opgevangen door de detector van de XRF. De detector zet de energie om in elektrische pulsen. Deze pulsen worden vervolgens via de interne computer omgezet naar de percentages van de elementen die aanwezig zijn in de bronzen kookpotten.

De zevende deelvraag is: Wat is de toegevoegde waarde van het gebruik van XRF in het archeologische werkveld, zowel in als buiten Nederland?

De toegevoegde waarde is dat er duidelijkheid is over de samenstelling van de elementen van de bronzen kookpotten. Hierdoor kan er worden vastgesteld of potten wellicht dezelfde maakwijzes hebben of wat mogelijke handelsroutes waren. Door de collecties te kunnen vergelijken met collecties uit het buitenland kan er nog meer informatie komen. Zoals in dit onderzoek waaruit is gebleken dat onderzochte potten uit Frankrijk veel minder lood bevatten dan Nederlandse potten. XRF-onderzoek geeft veel extra informatie en hoe meer XRF-onderzoek er gedaan wordt, hoe meer vergelijkingsmateriaal er ontstaat om de verschillende theorieën te kunnen bekijken.

Na het beantwoorden van de deelvragen, kan nu ook de hoofdvraag worden beantwoordt. De hoofdvraag luidt: Welke informatie levert onderzoek naar de samenstelling van bronzen kookpotten uit Nederlandse depots op?

Het XRF-onderzoek geeft extra informatie over de samenstelling van de bronzen potten uit de depots. Hierdoor kunnen depots bijvoorbeeld ook beter voor de potten zorgen als het aankomt op het behouden van de potten. Daarnaast kan er meer informatie worden gegeven over de herkomst van de potten. Verder krijgen de depots ook extra informatie of alle potten die zij bezitten ook dezelfde samenstelling hebben of dat deze erg van elkaar verschillen. Dit kan ook weer bijdragen aan de informatie waar de potten vandaan komen en de maakwijzes.

6. DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

Voor dit onderzoek is er alleen gebruik gemaakt van het XRF-apparaat, de Niton XL3t Gold+. Doordat alle metingen zijn gedaan met hetzelfde apparaat, zijn alle metingen op dezelfde wijze uitgevoerd en in de computer gezet. Als er op exact dezelfde manier wordt gemeten met een XRF-apparaat zijn de gegevens hetzelfde zoals die in dit onderzoek zijn gemeten. De gegevens kunnen dus ook in andere onderzoeken gebruikt worden. De metingen op de buiken, poten en oren zijn allemaal op dezelfde wijze verricht en zijn direct met notities in een Excel lijst gezet. De vergelijking met het onderzoek in Frankrijk van Thomas kan wellicht afwijken van wat er in dit onderzoek naar voren is gekomen. Dit komt doordat Thomas wellicht een andere meetmethode heeft gehanteerd of andere meetplekken op de potten. Dit is niet in het onderzoek van Thomas aangegeven.

Daarnaast is er in dit onderzoek alleen gekeken naar de kenmerken van de elementen en niet naar de uiterlijke kenmerken van de potten. Hierdoor zijn er ook geen clusters opgemaakt als het gaat om verschillende type bronzen kookpotten. Wellicht als dit in een vervolgonderzoek wordt onderzocht, dat er andere clusters naar voren komen ten opzichte van hoe het nu in de grafieken staat aangegeven. De percentages van de elementen van de potten liggen allemaal dicht bij elkaar, maar als de uiterlijke kenmerken worden meegenomen, kunnen de grafieken andere clusters aangeven en mogelijk ook andere conclusies geven dan in dit onderzoek. In de vergelijkende analyse in hoofdstuk vier is een korte vergelijking gemaakt van de grootste en de kleinste grape. Hieruit is op te maken dat een onderzoek waarin de uiterlijke kenmerken worden meegenomen erg relevant is en met andere resultaten kan komen.

Daarnaast is een verdere aanbeveling om onderzoek te doen naar een mogelijke oorzaak voor het lagere tin- en antimoongehalte van de potten in Nederland. Juist deze twee elementen geven een goede beschermende laag voor de bronzen potten.

Verder zijn in het onderzoek alleen de buiken, poten en oren meegenomen. De foutieve metingen, reparaties, andere objecten, stelen en breuken zijn niet meegenomen in de grafieken. Dit omdat in elk van de hiervoor genoemde categorieën er maar één was en er hierdoor geen vergelijkingsmateriaal is van de elementen en er ook geen clusters kunnen worden opgebouwd. Het advies luidt dan ook om XRF-onderzoek te laten uitvoeren naar andere bronzen voorwerpen en ook deze categorieën te analyseren. Door meer XRF-onderzoek te laten doen, is er meer vergelijkingsmateriaal en kunnen er ook andere stellingen worden geconcludeerd dan in dit onderzoek.

Het advies voor een vervolgonderzoek is dan om naast een XRF-onderzoek ook een isotopenonderzoek voor het dateren van de kookpotten uit te laten voeren. Verder is het advies ook andere bronzen voorwerpen te laten vergelijken met de bronzen kookpotten om te kijken hoe deze groepen verschillen van de bronzen kookpotten die al onderzocht zijn.

Er zijn dan ook nog vragen die niet beantwoord zijn. De datering van de potten kan niet worden achterhaald met het onderzoek. Daarnaast is er nog geen antwoord op de vraag of er potten zijn die van dezelfde maker zijn of uit dezelfde regio komen. Als deze vragen in de toekomst beantwoord kunnen worden, is dat een goede aanvulling op dit onderzoek en de onderzoeken van Van Vilsteren, dat is echter niet mogelijk met meer XRF-onderzoek.

LITERATUURLIJST

Boeken

- Berendsen, H.J.A., 2000: Fysisch-geografisch onderzoek, Assen, 55-60.
- Davis, H.M., 2008: Ontdekking van de scheikundige elementen, Amsterdam, 185-224.

Artikelen (tijdschriften)

- Speakman, J., A.M.W. Hunt, A. Semon, 2018: Lead isotope and XRF analyses of Spanish colonial bronze bells, *University of Georgia*.
- Vilsteren, V.T. van, 1998: Voor hutspot en de duivel - over de betekenis der 'zoogenaamde Spaansche legerpotten'. *Nieuwe Drentse Volksalmanak* 115, 142-170.
- Vilsteren, V.T. van, 2007: Het sprookje van de keukenjonker; over de interpretatie van bronzen potten bij kasteelopgravingen, *Westerheem* 55, 2-13.
- Vilsteren, V.T. van, 2008: Een dikke duitser in het Gat – over afgedankt huisraad, virtuele schepen en een behouden vaart, *De Ouwe Waerelt* 8 nr. 3, 32-42.
- Vilsteren, V.T. van, 2014: Voor een dubbeltje op de eerste rij - bijzondere bronzen potjes uit Noord-Nederland, *Paleo-aktueel* 25, 97-105.

Overig

- Aarts, J.G., E. Blom, J.A.A. Bos, J. Dijkstra, E. Drenth, C. van Driel, L.M.B. van der Feijst, R.C.A. Geerts, P.L.M. Hazen, I. Joosten, L.M. Kootker, R. Machiels, M.J.A. Melkert, C. Moolhuizen, B. van Os, A. Pijpelink, W.F. Reigersman-vanLidth de Jeude, P.T.A. de Rijk, L.P. Verniers, F.S. Zuidhoff, 2015: Tien millennia bewoningsgeschiedenis in het Maasdal, van jachtkamp tot landgoed langs de A2 bij Maastricht, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, 130-140.
- Hall, E.T., 1960: X-Ray Fluorescent Analysis applied to archaeology, *Oxford*, 5-15.
- Hamburg, T., J.J.W. de Moor, W.K. van Zijverden, W. Laan, P. van de Geer, M. Wansleebe, J.W.H.P. Verhagen, A. Maurer, D. Fritsch, S.N. Elgün, V. Kovalenko, M. Prins, R. Wiggers, H. Boonstra, G. Verweij, 2014: Opsporing, waardering en selectie van prehistorische archeologische vindplaatsen in Flevoland, *Alblasserdam*, 110-280.
- Heeren, S., J. Roymans, 2014: Archeologische onderzoek op de vindplaats van gouden munten en hakzilver uit de 5^{de} eeuw bij Pey, gemeente Echt-Susteren, *Archeologisch Centrum Vrije Universiteit*, 10-25.
- Janssens, K., L. Vincze, B. Vekemans, A. Rindby, 2000: Use of microscopic XRF for non-destructive analysis in art and archaeometry, *X-RAY Spectrometry*, 65-91.
- Lauwerier, R.C.G.M., J.W. de Kort, O. Brinkkemper, E. Altena, C.R. Brandenburgh, J.H.C. Deeben, T. de Groot, J. Hendriks, D.J. Huisman, I.M.M. van der Jagt, M. Kars, P. de Knijff, L.M. Kootker, W.J. Kuijper, F.J. Laarman, E. Meijvogel, S.A. Muller, D.J.M. Ngan-Tillard, A.M. Nieman, B.J.H. van Os, R.G.A.M. Panhuysen, C.A.M. van Rooijen, P. Roomberg, M. Smeding, G.C. Soeters, E.M. Theunissen, F.C.W.J. Theuws, H.J. Tolboom, W. Verwaal, R.M. Vogelzang, J.C. Zwaan, 2014: Rapportage Archeologische Monumentenzorg 222, Merovingers in een villa 2, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, 30-40.
- Micu, C., 2011: Peuce, serie noua, *Tulcea*, 1-15.

- Onuruna, C.H., 2013: Türkiye arkeolojisinde metal: arkeolojik ve arkeometrik çalışmalar, *Ankara*, 105-116.
- Roxburgh, M.A., S. Heeren, D. J. Huisman, B.J.H. van Os, 2018: Non-Destructive Survey of Early Roman Copper-Alloy Brooches using Portable X-ray Fluorescence Spectrometry, *Leiden*.
- Shackley, M.S., 2018: X-Ray Fluorescence Spectrometry, *Hoboken*, 55-67.
- SIKB-handreiking 8101, 2018: Ontwerp Handreiking gebiedsgericht onderzoek metalen in bodem, *Gouda*, 3-20.
- Thomas, N., I. Leroy, J. Plumier, 2014: Lo'r de dinandiers: fondeurs et batteurs mosans au Moyen Age, Catalogue de l'exposition presentee a la Maison du Patrimoine medieval mosan, mars-novembre, *Bouvignes, MPMM*, 20-60.

Internetbronnen

- <https://drentsmuseum.nl/organisatie/geschiedenis>, geraadpleegd op 01-03-2016.
- <https://drentsmuseum.nl/nl/organisatie/missie-visie-en-beleid>, geraadpleegd op 01-03-2016.
- <https://drentsmuseum.nl/nl/organisatie/anbi>, geraadpleegd op 01-03-2016.
- <http://removeandreplace.com/2015/09/09/periodic-table-of-elements-with-names-and-symbols/>, geraadpleegd op 27-04-2016.
- <https://us-tech.co.za/wp-content/uploads/2016/08/Niton-XL3t-GOLDD-Brochure.pdf>, geraadpleegd op 06-06-2016.
- <https://collectie.huisvanhilde.nl/pdf/Materiaalpracticum%20EBF%20compleet.pdf>, geraadpleegd op 06-06-2016.
- <https://www.alurvs.nl/roestvast-staal/artikellijst/761/>, geraadpleegd op 03-04-2017.

Afbeeldingen in de bijlage

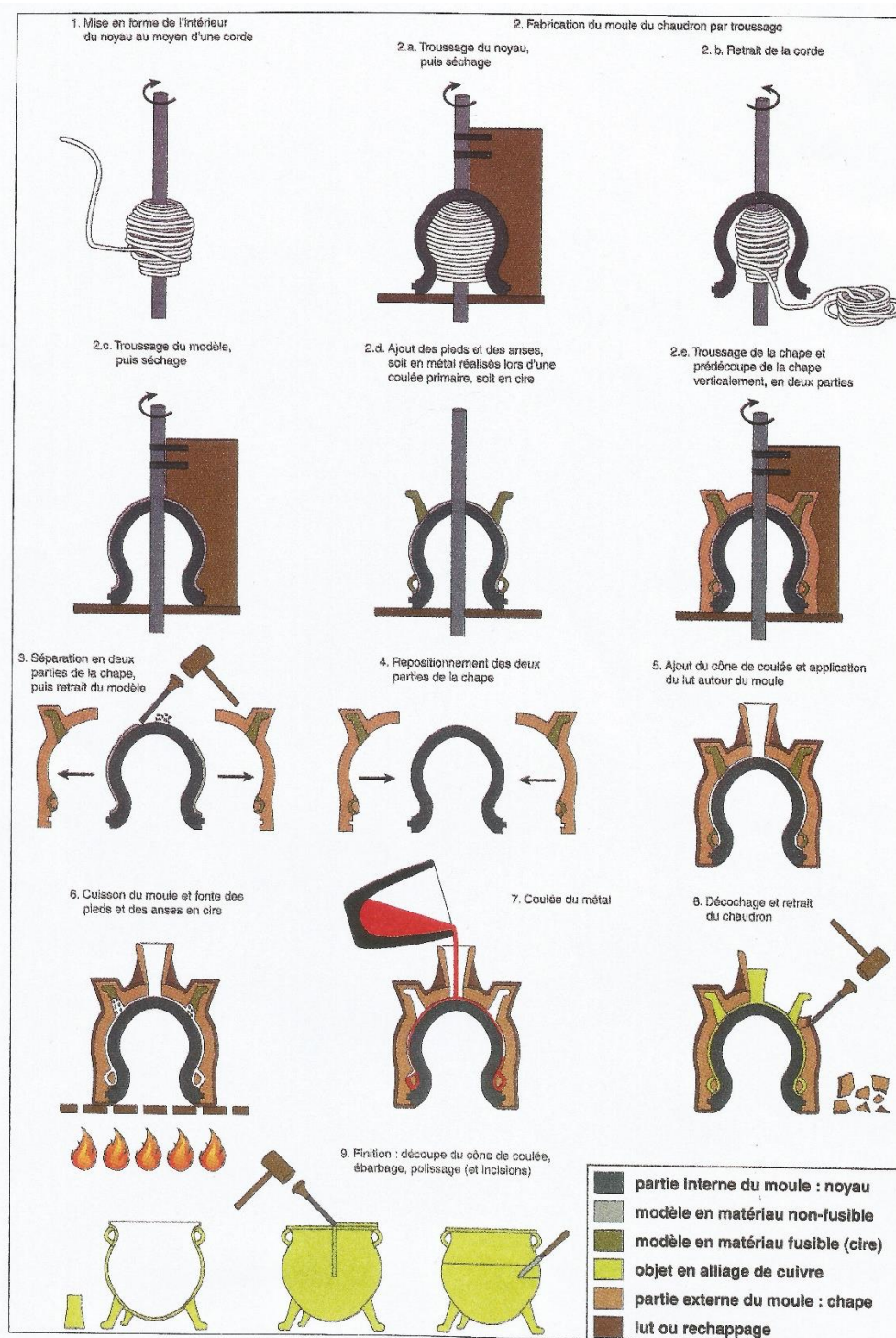
- Bijlage 1: <https://us-tech.co.za/wp-content/uploads/2016/08/Niton-XL3t-GOLDD-Brochure.pdf>
- Bijlage 2: Thomas, N., I. Leroy, J. Plumier, 2014: Lo'r de dinandiers: fondeurs et batteurs mosans au Moyen Age, Catalogue de l'exposition presentee a la Maison du Patrimoine medieval mosan, mars-novembre, *Bouvignes, MPMM*, 56.

BIJLAGEN

BIJLAGE 1

Weight	< 3.0 lbs (< 1.3 kg)
Dimensions	9.60 x 9.05 x 3.75 in. (244 x 230 x 95.5 mm)
Tube	Ag anode (6-50 kV, 0-200 µA max)
Detector	Geometrically Optimized Large Area Drift Detector (GOLDD) Proprietary detector with 180,000 throughput cps Resolution: < 185 eV @ 60,000 cps @ 4µ sec shaping time
System Electronics	533 MHz ARM 11 CPU 300 MHz dedicated DSP 80 MHz ASICS DSP for signal processing 4096 channel MCA 32 MB internal system memory/128 MB internal user storage
Display	Tilting, color, touch-screen display
Standard Analytical Range	Up to 30 elements from Mg to U (varies by application)
Optional Light Elements	Ultra-low light element detection via He purge
Data Storage	Internal >10,000 readings with spectra
Data Transfer	USB, Bluetooth, and RS-232 serial communication
Security	Password-protected user security
Mode (Varies by application)	Alloy Modes: Metal Alloy, Electronics Alloy, Precious Metals Bulk Modes: Soil, Mining, TestAll™ Plastic Modes: RoHS Plastics, Toy & Consumer Goods Plastics, TestAll, Painted Products Custom Modes: Upon request (based on application feasibility)
Data Entry	Touch-screen keyboard User-programmable pick lists Optional wireless remote barcode reader
Standard Accessories	Integrated CCD camera for locating and storing images Locking shielded carrying case Shielded belt holster Two lithium-ion battery packs 110/220 VAC battery charger/AC adapter PC connection cables (USB and RS-232) Niton Data Transfer (NDT) PC software Safety lanyard Check samples/standards
Optional Features and Accessories	3 mm small-spot collimation Thermo Scientific SmartStand™ portable test stand, stationary (bench-top) test stand, mobile test stand, Field Mate™ Thermo Scientific Extend-a-Pole™ extension pole Welding mask Thermo Scientific HotFoot™ hot surface adapter Soil testing guard
Licensing/Registration	Varies by region. Contact your local distributor.
Compliance	CE, RoHS

BIJLAGE 2



Fabrication d'un chaudron tripode par fonderie (Schéma N. Thomas, S. Widart
 © SPW-DPat. / Inrap)

